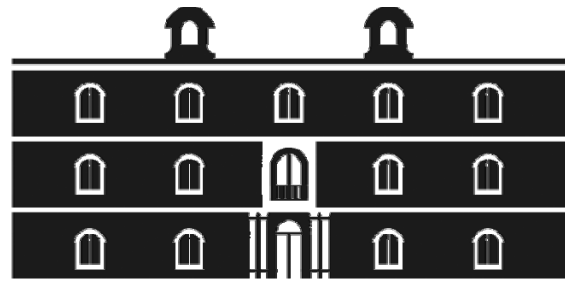




Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

Análisis del Ciclo de Vida de una vivienda media de la Región de Murcia

Titulación: Máster en Energías Renovables
Alumno: Jaime Sanz San Pablo
Directoras: Nieves Espinosa Martínez
Socorro García Cascales

Cartagena, 10 de julio de 2012

Índice

Índice	3
Capítulo 1.- Macroeconomía de la construcción.	7
<i>Introducción</i>	8
<i>Impactos asociados al sector de la construcción</i>	8
Consumo de energía	9
Emisiones a la atmósfera	11
Deforestación	11
Consumo de recursos y generación de residuos	12
<i>Soluciones y alternativas</i>	12
Capítulo 2.- La construcción en el sector energético español.	14
<i>Introducción</i>	15
<i>Evolución del sector energético español</i>	15
Producción de energía	15
Consumo y eficiencia	15
Distribución sectorial	16
<i>Edificación y equipamiento. Consumo energético.</i>	16
<i>Evolución del consumo en el sector doméstico</i>	17
<i>Indicadores sectoriales</i>	18
Número de viviendas	18
Renta bruta disponible	18
Emisiones de CO ₂	18
Residuos sólidos urbanos	18
Consumo de agua	19
Capítulo 3.- Eficiencia energética en la construcción. Marco normativo	20
<i>Introducción</i>	21
<i>Normativa vigente</i>	21
Requisitos mínimos de eficiencia energética e inspecciones periódicas.	22
Certificación energética de edificios.	22
Nueva construcción	22
Existentes	23
Edificios públicos	23
<i>Nuevas necesidades legislativas.</i>	23
Requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios. Concepto de ciclo de vida.	23
Edificios de consumo de energía casi nulo.	24
<i>Eficiencia en el uso final de la energía.</i>	25



Capítulo 4.- Análisis de Ciclo de Vida. Conceptos básicos.	26
<i>Introducción</i>	27
<i>Conceptos básicos del LCA</i>	28
Definición de objetivos y alcance del estudio.	28
Inventario de Ciclo de Vida	29
Evaluación del impacto.	29
Interpretación de resultados.	30
Revisión crítica.	31
Capítulo 5.- Análisis del ciclo de vida de una vivienda media en Murcia	32
<i>Alcance del estudio</i>	33
<i>Metodología de cálculo</i>	33
Energía embebida	34
Energía de operación	35
Energía de demolición.	35
Energía total del ciclo de vida	36
<i>Definición de objetivos</i>	36
<i>Definición de la unidad funcional</i>	37
Selección de la vivienda. Características	37
<i>Hipótesis de partida</i>	40
<i>Inventario de ciclo de vida</i>	42
<i>Presentación de resultados</i>	42
Fase de construcción. Contenido energético de materiales y procesos constructivos	42
Fase de operación	44
Consumo total	45
Análisis de sensibilidad	46
Interpretación, resumen y conclusiones	53
Validación de resultados	57
Futuras líneas de investigación	63
Anexos	66
<i>Anexo informativo. Nomenclatura y definiciones.</i>	67
<i>Anexo A. Inventario de Ciclo de Vida. Caso de estudio A.</i>	68
<i>Anexo B. Inventario de Ciclo de Vida. Caso de estudio B.</i>	74
<i>Anexo C. Inventario de Ciclo de Vida. Caso de estudio C.</i>	80
<i>Anexo D.- Energía de mantenimiento. Caso de estudio A.</i>	86
<i>Anexo E.- Energía de mantenimiento. Caso de estudio B.</i>	90
<i>Anexo F.- Energía de mantenimiento. Caso de estudio C.</i>	94



<i>Anexo G.- Análisis de resultados</i>	98
<i>Anexo H. Análisis de sensibilidad. Comparación contenido energético de los materiales.</i>	101
Bibliografía	104



Capítulo 1.- Macroeconomía de la construcción.

Introducción

La población mundial se ha duplicado desde el año 1950, produciéndose la mayor parte de este crecimiento en los países en vías de desarrollo.

Del total de habitantes del planeta, a fecha de hoy, más de la mitad de los mismos se aglutinan en entornos urbanos. En los países desarrollados, aproximadamente un 40% de la población se concentra en las ciudades, dato que contrasta fuertemente con el correspondiente a la década de los 50, en la que el porcentaje de habitantes de las ciudades era sólo de un 20%.

Por otra parte, se estima que el ser humano emplea entre el 80% y el 90% de su tiempo diario en el interior de algún tipo de edificación (vivienda, trabajo, gimnasio, etc.).

Los datos anteriormente expuestos permiten atisbar con facilidad la elevada demanda existente, a nivel mundial, en lo que a la construcción de edificaciones e infraestructuras se refiere. Por poner un ejemplo al respecto, el Banco Mundial estima que, en el año 2015, más de la mitad del stock de edificios residenciales y comerciales de China habrá sido construido durante los quince años anteriores.

En el caso de los países en vías de desarrollo, esta demanda de nuevas edificaciones (especialmente residenciales) resulta tan elevada que, a menudo, no puede ser cubierta. El desequilibrio existente entre la oferta y la demanda lleva, en muchos casos, a la edificación de viviendas de baja calidad (“chabolos”), cuyas características principales pueden resumirse en su ilegalidad y la ausencia de las infraestructuras más básicas.

Inevitablemente, este elevado volumen de producción da lugar a una serie de efectos, de elevada y creciente repercusión, sobre distintos factores sociales, económicos y ambientales del planeta.

Impactos asociados al sector de la construcción

El sector de la edificación, dadas sus características intrínsecas y su volumen de negocio, constituye un pilar fundamental en el desarrollo socio-económico de cualquier país. No en vano, se estima que este sector supone, aproximadamente, un 10% del producto interior bruto global del planeta, generando, a su vez, el 7% del total de puestos de trabajo en el mismo (Tabla 1).

	PIB	FORMACIÓN BRUTA DE CAPITAL FIJO	EMPLEO
EU (1999)	9,7%	47,6%	7,5%
Japón (2000)	13,7%	53,4%	9,9%
EEUU (2000)	4,7%	45,7%	5,0%

Tabla 1.- Contribución del sector de la construcción al PIB, formación bruta de capital fijo y empleo en diferentes países.



Destaca, asimismo, el fuerte efecto multiplicador que, sobre el capital circulante, se deriva de su estructura interna. A este respecto, el Consejo para la Investigación e Innovación en la Edificación y la Construcción (CIB, por sus siglas en inglés) estima que cada euro invertido en este sector genera hasta tres euros en otros sectores directamente relacionados con el primero.

Ahora bien, no todos los efectos derivados de este sector resultan beneficiosos para el entramado social. Muy al contrario, el impacto que del mismo se desprende sobre la salud humana y el medio ambiente se está convirtiendo, cada vez más, en un grave problema que la sociedad en su conjunto debe resolver.

En este sentido, resulta especialmente destacado el elevado alcance temporal asociado a los impactos mencionados anteriormente, consecuencia directa de la extensa vida útil que caracteriza a los edificios e infraestructuras (se espera que las edificaciones construidas hoy en día alcancen una vida útil media de 80 años).

Entonces, la consideración, desde las primeras fases de desarrollo de cualquier proyecto de construcción, de criterios de sostenibilidad y eficiencia energética resultan imprescindibles de cara a la minimización de los impactos a continuación descritos, su alcance y consecuencias

Consumo de energía

En los países de la OCDE, el sector de la construcción, entendiéndolo en su concepto más global (esto es, considerando los procesos de producción y transporte de los materiales necesarios para el mismo) supone entre el 25 y el 40% de la energía total consumida anualmente, cifra que, en ciertos países, llega a alcanzar valores de hasta el 50% (Figura 1). Además, la proporción que sobre el global de energía final consumida en dichos países se atribuye a este sector, ha ido aumentando de una forma prácticamente constante a lo largo de las últimas décadas, previéndose que dicha tendencia continúe en los próximos años.

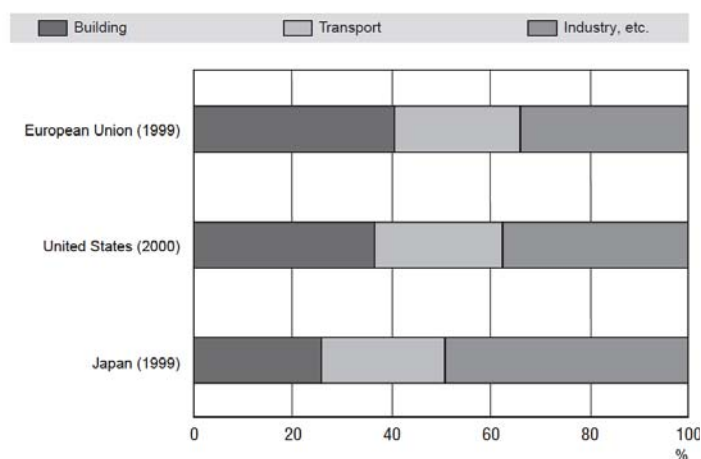


Figura 1.- Consumo de energía final por sectores.

La Agencia Internacional de la Energía calcula que un tercio de la energía final consumida en el mundo desarrollado se destina a los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación, etc., propios de los edificios no industriales (es decir, edificios de viviendas, comercios, etc.). Entre todos ellos, es la demanda de



calefacción la que, sobre el consumo global del edificio, tiene la mayor cuota participativa, especialmente en los países europeos (véase la Figura 2).

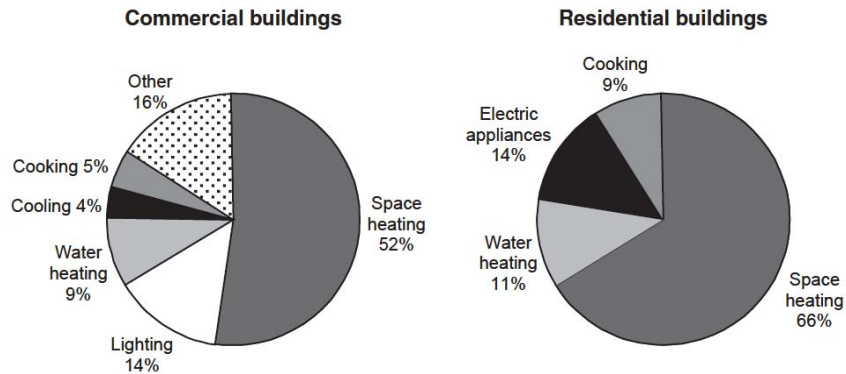


Figura 2.- Distribución por usos de la energía final consumida en el sector de la construcción en los países de la Unión Europea.

Ahora bien, conviene destacar que el consumo energético del sector en su conjunto no se limita al correspondiente a la operación de los edificios (energía consumida durante la vida útil de los mismos). Muy al contrario, los procesos de fabricación de los materiales de construcción, el transporte de los mismos y los propios procesos de edificación dan lugar a consumos energéticos que no deben ser despreciados si se pretende llevar a cabo un análisis detallado del sector. Como ejemplo, sirva indicar que en el Reino Unido el consumo de energía final debido a la fabricación y transporte de materiales de construcción suponen el 3% (cada uno) del consumo total de energía final del país, véase la Figura 3.

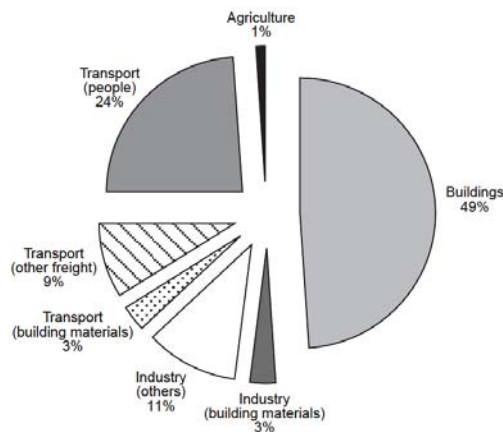


Figura 3.- Distribución del consumo de energía final por sectores en Reino Unido.

Si se tiene en consideración el hecho de que la mayor parte del consumo energético de un edificio resulta atribuible a la operación del mismo, la necesidad de mejorar su eficiencia energética en aras de reducir el consumo final del sector resulta más que evidente.

En este sentido, el abanico de posibilidades existentes de cara a la reducción del consumo energético del edificio resulta ciertamente extenso, abarcando, desde básicos conceptos de diseño (la orientación del edificio, la superficie acristalada escogida, etc.), hasta pequeños detalles de ejecución (métodos de eliminación de puente térmico, correcta estanqueidad de la envolvente), sin despreciar la necesidad de recurrir al empleo de nuevos y mejores materiales de construcción (aislantes de menor conductividad térmica, vidrios selectores de radiación, etc.). La adecuada combinación de todos, o una parte, de estos criterios, especialmente relevantes durante la fase de proyecto, permitirán alcanzar en mayor o menor medida el objetivo de disminución en el consumo energético.

Resulta, así, fácil entender como, conforme aumenta la eficiencia energética de las edificaciones, su demanda de energía a lo largo de su vida útil tenderá a disminuir. Se produce entonces una modificación en la distribución que, por usos, se puede establecer sobre el consumo de energía total del sector, disminuyendo la importancia relativa que el consumo asociado a la operación de los edificios supone en el global, al tiempo que aumenta la parte correspondiente al resto de procesos del sector (fabricación, transporte y colocación de materiales).

Esta energía consumida por “el resto de procesos del sector”, y habitualmente denominada como “energía embebida”, podrá entonces verse reducida gracias al empleo de nuevos y mejores materiales, cuya fabricación y montaje requiera de un menor consumo energético, reduciéndose así la demanda global del sector.

De esta forma, la optimización del consumo energético en el sector de la construcción supondrá entonces la búsqueda y el empleo de aquellos materiales que, con el menor valor de energía embebida posible, minimicen el consumo de energía en la fase de operación del edificio.

Emisiones a la atmósfera

El aporte de las tecnologías renovables al mix energético mundial es de, aproximadamente, un 15%. Resulta entonces fácil entender la elevada responsabilidad que el sector de la construcción tiene en la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, especialmente si se tiene en consideración el elevado peso que el mismo supone en el consumo de energía global del planeta (Figura 1).

Entre los diferentes procesos productivos del sector, la fabricación de cementos resulta de especial interés en este ámbito, pues da lugar a la emisión de elevadas cantidades de sustancias contaminantes a la atmósfera, dato que resulta especialmente relevante si se tiene en consideración el hecho de que este material es el más empleado en el sector (principal componente de las estructuras de hormigón).

Por otra parte, el sector residencial es, en los países europeos, la mayor fuente de emisión de gases de efecto invernadero. Siendo el responsable de la emisión del 40% de los gases de efecto invernadero del planeta en su conjunto.

Deforestación

La mayor parte de la deforestación producida en los países en vías de desarrollo se debe a las crecientes necesidades de superficie para la edificación y a la tala de árboles para la exportación de madera, material que, mayoritariamente, será empleado en procesos constructivos o elementos para el sector residencial.

La urbanización de alta densidad, especialmente en los países en vías de desarrollo, la renovación y restauración de edificaciones existentes, especialmente en



los países desarrollados (en los que ya ha alcanzado una cuota de mercado del 30%) y el consumo responsable y sostenible de materiales fabricados con madera natural, surgen así como las principales vías de escape este problema.

Consumo de recursos y generación de residuos

Los procesos constructivos requieren elevadas cantidades de materiales de diferentes características en función del uso al que se destinan (estructural, envolvente, acabados, etc.). Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, la construcción es responsable del consumo de, aproximadamente, la mitad de todos los recursos que el ser humano toma de la naturaleza.

Consecuencia directa de la anterior necesidad resulta la elevada tasa de producción de residuos que se registra en el sector, cifra que, para el caso de la Unión Europea, asciende hasta 180 millones de toneladas al año. En estados Unidos, las estimaciones más recientes al respecto sitúan la tasa de producción de residuos de construcción y demolición en un 40% del total de residuos generados en el país.

Resulta, asimismo, destacable la agresiva tendencia que se viene observando en el aumento de la producción de residuos a cargo del sector constructivo. Se estima que, en la Unión Europea, la producción de residuos aumentará, de los 160 millones de toneladas producidas en 1995, hasta alcanzar la cifra de 500 millones de toneladas en 2050.

Puesto que las características intrínsecas del producto final del sector, esto es, los edificios, no permiten reducir fácilmente la cantidad de materiales empleados en su fabricación (que es la técnica más empelada en el sector industrial para reducir la cantidad de residuos generados), la minimización de la producción de residuos en la construcción pasa, inevitablemente, por el empleo de técnicas de reciclado y reutilización de los materiales. Actualmente, en la Unión Europea se recicla un 25% de los residuos de construcción, si bien, dicho valor varía fuertemente entre unos países y otros, desde un 5% hasta cerca de un 90%.

Otra forma de reducir la generación de residuos de la construcción pasa por el aumento de la vida útil de los edificios. A este respecto, es fácil comprender que la cantidad de residuos de demolición podría reducirse a la mitad si la vida útil de las edificaciones se duplicara.

Soluciones y alternativas

Analizados los principales impactos que el sector de la construcción presenta a nivel global, resulta factible proponer una serie de acciones (tanto a corto como a medio-largo plazo) que permitirían mejorar la sostenibilidad del sector y que se pueden resumir en:

Medidas a *corto plazo*:

1. Reducción de los residuos derivados de los procesos de fabricación de materiales y procesos constructivos, medida que puede ser incentivada mediante el aumento de las tasas e impuestos de los vertidos.
2. Aumento en la cantidad de material reciclado o reutilizado.
3. **Mejorar la eficiencia energética de los edificios.**
4. Racionalizar el consumo de agua en los edificios.



5. Aumento de la vida útil de las estructuras.

Medidas a *medio-largo plazo*:

1. Reorientación de las políticas que afectan al sector, incluyendo las políticas financieras.
2. Promoción de la responsabilidad medioambiental a nivel empresarial y social mediante el empleo de mecanismos de información a usuarios.
3. Innovación en lo que respecta a las tecnologías de fabricación de materiales, procesos constructivos, etc.
4. Promocionando la recopilación y análisis de datos de todo tipo, así como la creación y desarrollo de indicadores de calidad y medioambientales.



Capítulo 2.- La construcción en el sector energético español.

Introducción

El sector de la edificación ha sido uno de los principales pilares sobre los que se ha sustentado el fuerte crecimiento económico experimentado por la sociedad española a lo largo de la primera década del SXXI.

Este crecimiento ha llevado aparejado una clara tendencia alcista en el consumo energético del país así como un incremento en la cuota de participación que el sector de la edificación supone en el consumo global del mismo.

Por otra parte, y de cara a la evaluación futura de las medidas e incentivos actualmente implementados con objeto de mejorar la eficiencia en el sector de la edificación, resulta necesario conocer el marco global en el que dicho sector se encuentra ubicado.

En este sentido, los apartados que componen este capítulo presentan los datos más relevantes del contexto energético nacional, centrando su análisis en la repercusión que en el mismo se deriva a cargo del sector de la edificación.

Evolución del sector energético español

Se presentan, a continuación, algunos datos fundamentales que caracterizan la estructura y evolución del sector energético nacional durante los últimos 20 años.

Producción de energía

Tradicionalmente, España se ha caracterizado por su fuerte dependencia energética del exterior, consecuencia de la estructura de consumo basada en productos petrolíferos (importados en su práctica totalidad), y de la escasez de recursos energéticos autóctonos. Sin embargo, esta situación sufre un cambio de tendencia a partir del año 2005, causado principalmente por la aplicación de nuevas políticas energéticas y el fomento de las energías renovables, que da lugar a un aumento de la tasa de autoabastecimiento del país, alcanzándose en 2010 una cifra cercana al 26%.

Consumo y eficiencia

La demanda energética española ha venido experimentando una tendencia alcista desde la entrada del país en la Unión Europea. Este momento marcó un claro punto de inflexión en la calidad de vida de sus habitantes, generándose un aumento progresivo de su poder adquisitivo que se vio reflejado en un incremento del equipamiento automovilístico y doméstico, así como en un fuerte desarrollo del sector inmobiliario, factores que resultaron decisivos en la tendencia al alza del consumo energético español.

En lo que al rendimiento del sector se refiere, este se mantiene prácticamente constante durante los primeros 5 años de la pasada década, observándose una tendencia a la baja en los últimos años de la misma. Esta tendencia se fundamenta en la introducción de criterios de sostenibilidad y eficiencia en muchos sectores industriales y se ve reforzada, a partir del año 2008, por el efecto de la crisis financiera internacional.



Distribución sectorial

Como puede observarse en la Figura 4, el sector transporte es el mayor consumidor de energía final, con una cuota participativa de, aproximadamente, el 39,3%.

El siguiente orden de magnitud lo representa la industria (que aglutina al sector de la construcción), con un 30,2% del consumo, a la que siguen los sectores de usos diversos, entre los que destacan, con creciente protagonismo, los sectores residencial y servicios.

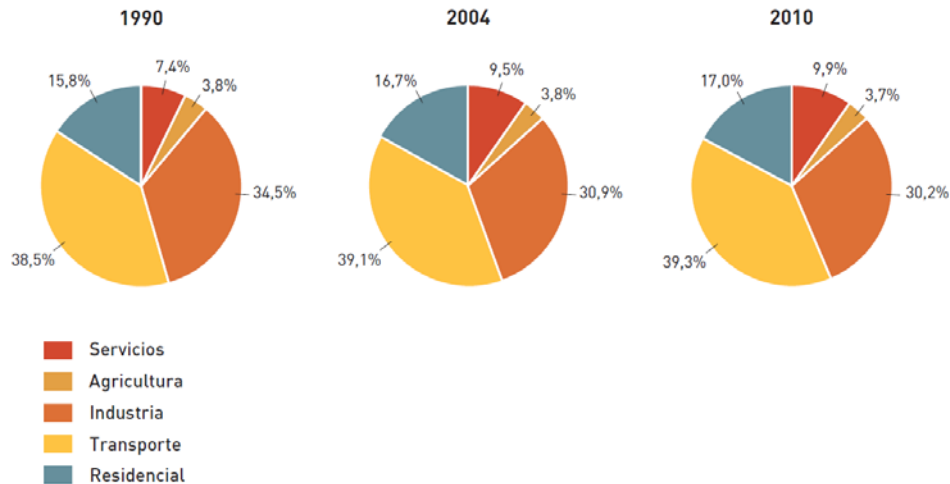


Figura 4.- Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final.

Edificación y equipamiento. Consumo energético.

El consumo de energía final del sector de la edificación (se incluye aquí el consumo derivado de los servicios tales como las instalaciones térmicas, iluminación, equipamiento, etc.) representa el 26,1% del consumo total de energía en España. De esta cifra, el 67% corresponde a los edificios cuyo uso principal es el de vivienda, mientras que el restante 23% corresponde a los edificios de servicios.

Si se considera la segregación del consumo final del sector en función de los usos a que se destina, térmicos y eléctricos (Figura 5), se pueden observar claras diferencias en los patrones de comportamiento de los edificios domésticos (edificios en los que la mayor parte del consumo se destina a usos térmicos) frente al correspondiente a los edificios destinados al sector servicios (edificios en los que la mayor parte del consumo se destina a usos eléctricos).

Si se considera la segregación del consumo final del sector en función de los usos a que se destina, térmicos y eléctricos, se comprueba que la mayor parte del consumo de los edificios de viviendas corresponde a los primeros, siendo especialmente relevante el consumo debido a la calefacción de los mismos (Figura 5).

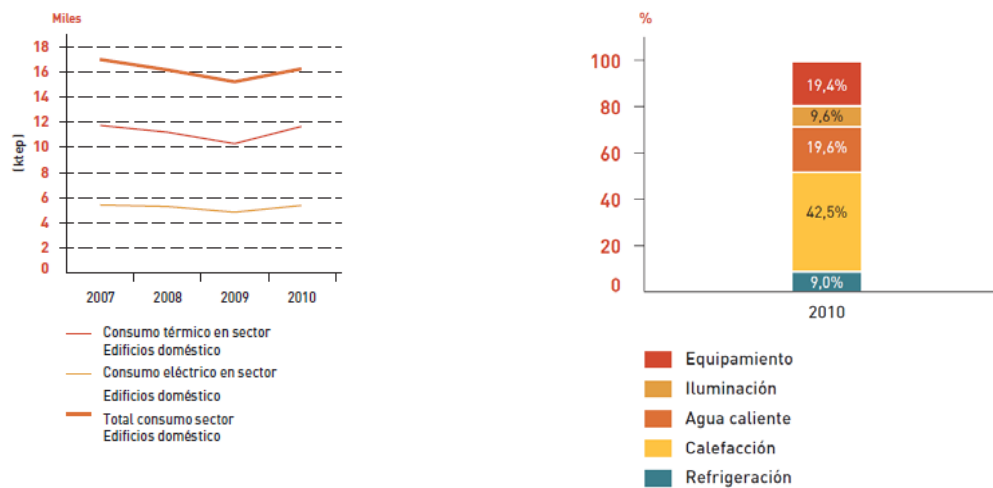


Figura 5.- Distribución del consumo de energía en el sector residencial vivienda

Evolución del consumo en el sector doméstico

Si se compara la intensidad energética en el sector doméstico español con el de otros países de la Unión Europea (Figura 6), se observa que el valor registrado en España (0,92 Tep/vivienda) está en torno al 40% por debajo de la media europea (1,53 tep/vivienda).

Se observa, adicionalmente, una tendencia decreciente en el consumo energético medio de los hogares en el periodo 2006 – 2009, alcanzándose un descenso del 13,5%, motivado, al menos parcialmente, por la puesta en marcha de los programas de ahorro y eficiencia energética mencionados en puntos anteriores.

Destaca, asimismo, el acercamiento observado durante los últimos años entre la intensidad eléctrica de los hogares españoles y la media europea, alcanzándose, en 2008, un consumo medio por hogar de 3.760 kWh, aproximadamente un 9% menos que la media de los países de la Unión.

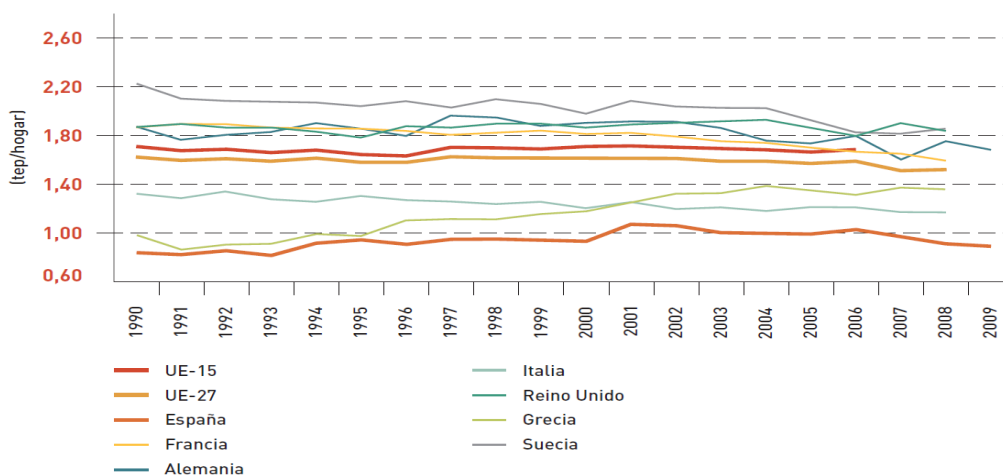


Figura 6.- Intensidad energética en el sector doméstico con correcciones climáticas en España y la Unión Europea.



Indicadores sectoriales

Número de viviendas

El parque inmobiliario español ha sufrido un incremento leve pero constante hasta el año 2008. Sin embargo, la superficie de viviendas construidas, con una clara tendencia alcista hasta entonces, sufre un fuerte retroceso a partir del año 2006, siendo el principal motivo de la misma la crisis económico financiera actual.

Por el contrario, la edificación de viviendas destinadas al sector servicios se ha mantenido prácticamente constante desde el año 2005.



Figura 7.- a) Evolución de la tasa de construcción anual (m² de superficie construida al año). b) Evolución del parque inmobiliario nacional.

Renta bruta disponible

Como se ha comentado en apartados anteriores, a lo largo de la última década la economía española sufrió un fuerte impulso que se ve reflejado en la tendencia al alza de este indicador desde el año 1990.

Emisiones de CO₂

Desde el año 1990, y hasta el 2005, los hogares españoles aumentaron su tasa media de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en una proporción prácticamente constante, aproximadamente 500 kT/año. Esta tendencia, sin embargo, sufre una fuerte variación a la baja desde el año 2006, asociada, entre otros factores, al inicio de la crisis económica actual.

Residuos sólidos urbanos

La producción media de los hogares españoles mantiene, desde el año 2000, una tendencia a la baja que se mantiene en la actualidad.



Consumo de agua

El consumo medio por hogar se mantiene prácticamente constante hasta el año 2004, momento en el que se observa una clara tendencia a la baja que se mantiene a fecha de hoy.

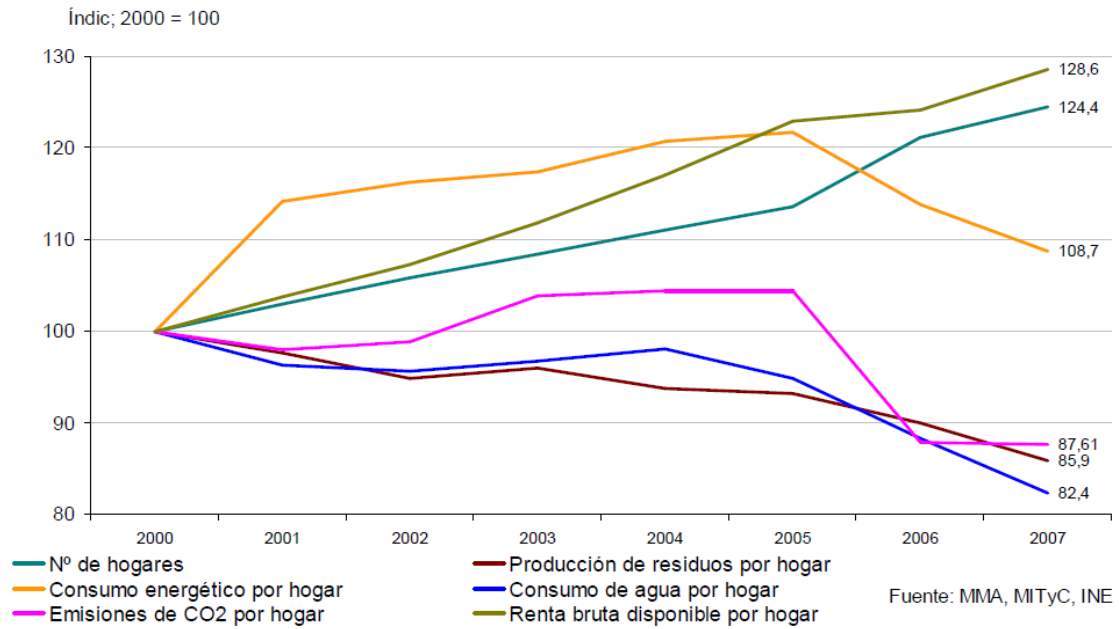


Figura 8.- Evolución distintos indicadores del sector residencial.



Capítulo 3.- Eficiencia energética en la construcción. Marco normativo

Introducción

El sector de la construcción se caracteriza, entre otros aspectos, por la elevada complejidad técnica asociada a la mayoría de los procesos que en él intervienen. Ciertamente, tanto en la fase de planificación urbanística como en las de diseño o ejecución de una determinada edificación, resulta frecuente enfrentarse a problemas de cierta complejidad, cuya resolución requiere de la intervención de personal con suficiente formación y adiestramiento.

Esta circunstancia, junto al creciente interés desarrollado en los últimos años en referencia a la unificación y mejora de los mínimos de calidad exigibles a las edificaciones, deriva en la necesaria existencia de un amplio marco normativo que regule el sector, estableciendo criterios técnicos de diseño y ejecución, estructurando la interacción diaria de los diferentes actores que intervienen en el proceso, etc.

Concretamente, los aspectos relacionados con el ahorro y la eficiencia energética quedan enmarcados en las líneas de actuación propuestas por las siguientes Directivas Europeas

1. **Directiva 2010/31/UE**, de 19 de mayo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, como refundición de la anterior Directiva 2002/91/CE.
2. **Directiva 2006/32/CE**, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

El presente capítulo pretende, así, analizar el desarrollo normativo que, como consecuencia de la necesaria trasposición de las citadas Directivas, se ha producido en el marco legislativo del sector de la construcción nacional, sus implicaciones y principales consecuencias.

Normativa vigente

La transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética en los edificios, ha sido realizada, en lo que respecta a los requisitos mínimos de eficiencia energética, inspecciones periódicas y certificación de edificios, mediante los siguientes Decretos:

1. RD. 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE).
2. RD. 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción.
3. RD. 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

A estas tres disposiciones, será necesario añadir, una vez se finalice su redacción y aprobación, el Real Decreto de certificación energética de edificios existentes, que completará la transposición de la citada Directiva 2002/91.



Requisitos mínimos de eficiencia energética e inspecciones periódicas.

Los requisitos mínimos de eficiencia energética, desarrollados en el artículo cuarto de la Directiva Europea de 2002, quedan traspuestos a la legislación nacional en base a los siguientes aspectos:

Limitación de la demanda de calefacción y refrigeración. Inclusión, en el *Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE)*, de un documento de obligado cumplimiento denominado *Documento Básico de Ahorro de Energía*. En la primera sección de dicho documento (*DB-HE 1 – Limitación de la demanda energética*), que sustituye a la antigua *Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79*, se establecen los requisitos que debe cumplir el proyecto de nuevos edificios en vistas a la reducción de su demanda térmica.

Rendimiento de las instalaciones térmicas e inspección periódica de eficiencia energética. Para el caso de las instalaciones térmicas (calefacción, refrigeración, ventilación, producción de agua caliente sanitaria), los requisitos mínimos de rendimiento a alcanzar en su diseño y mantenimiento, así como las características y frecuencia de las inspecciones de eficiencia energética a efectuar sobre las mismas, quedan regulados en el apartado segundo del *Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE (HE 2 – Rendimiento de las instalaciones térmicas)*. Ahora bien, el contenido de dichas exigencias se desarrolla en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (en adelante RITE)*, documento que regula el diseño, dimensionado, montaje, mantenimiento e inspección de las citadas instalaciones.

Por otra parte, como complemento a las anteriores exigencias y en aras de minimizar el consumo energético asociado a estas instalaciones, el *CTE* obliga, en su sección *HE 4 – Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*, a la utilización de la energía solar térmica para la producción de un determinado porcentaje de la demanda de agua caliente sanitaria del edificio, variable en función de la localidad en la que se ubica el mismo.

Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación. Este requisito queda incluido en el alcance del apartado tercero del *Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE: HE 3 – Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación*. Dicho documento desarrolla el método de cálculo a emplear para obtener el coeficiente de eficiencia energética de la instalación (denominado VEEI), estableciéndose limitaciones al mismo en función del uso al que se destina cada una de las zonas del edificio. Adicionalmente, se establecen obligaciones relacionadas con la regulación y el control de estas instalaciones, especialmente en materia de aprovechamiento de la luz natural.

Certificación energética de edificios.

Nueva construcción

El RD. 47/2007, de 19 de enero, establece el procedimiento básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción, de aplicación a estas edificaciones, así como a las modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes, siempre que la superficie del mismo supere los 1000 m² y se renueve más del 25% del total de sus cerramientos.

El registro, control externo y la inspección de los certificados emitidos son competencia de las comunidades autónomas, si bien estas pueden delegar en



organismos o entidades acreditadas para el campo reglamentario de la edificación y sus instalaciones o en técnicos independientes cualificados.

A fecha de hoy, únicamente siete comunidades autónomas han desarrollado legislación en esta materia, a saber: Andalucía, Galicia, Canarias, Extremadura, Comunidad Valenciana, Navarra y Castilla La Mancha.

Existentes

Este aspecto de la directiva está pendiente de transponer al derecho interno español. Si bien la Ley de Economía Sostenible (marzo de 2011) daba un plazo de seis meses para la publicación del Decreto correspondiente, dicha aprobación aun no se ha efectuado.

Edificios públicos

La directiva 2002/91/CE incide de manera significativa en la especial relevancia que los edificios de carácter público tienen para lograr un efecto publicitario y ejemplarizante. En este sentido, el RD 47/2007 establece la obligatoriedad de exhibir, de forma clara, en lugar destacable y visible por el público, la etiqueta de eficiencia energética para todos aquellos edificios ocupados por la Administración pública, o instituciones que prestan servicios públicos a un número importante de personas.

Nuevas necesidades legislativas.

La Directiva 2010/31/CE, de 19 de mayo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, como refundición de la Directiva 2002/91/CE, establece nuevos objetivos para el periodo 2010 – 2020 en relación a los requisitos mínimos de eficiencia energética, certificación energética e inspección periódica de las instalaciones térmicas.

La modificación de dichos requisitos conlleva, en España, la necesidad de actualizar los diferentes instrumentos empleados, y descritos en el punto anterior, con objeto de transponer la antigua directiva. En este sentido, se prevé la revisión del reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, del RD 47/2007 de certificación energética para edificios de nueva construcción, así como de los diferentes Documentos Básicos del Código Técnico de la Edificación que se ven afectados por las mencionadas modificaciones durante los años 2012 y 2013.

De forma general, puede establecerse que la nueva Directiva precisa y completa ciertos aspectos ya tratados en la Directiva de 2002. Sin embargo, existen algunos puntos de especial interés, como por ejemplo la alusión a una metodología de cálculo (aun pendiente de definir) para la obtención de los requisitos mínimos de eficiencia energética, o la promoción de los edificios de consumo de energía casi nulo, pues suponen importantes novedades al respecto.

Requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios. **Concepto de ciclo de vida.**

Se mantiene la actual obligación de regular, por parte de los estados miembros, unos requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios. Sin embargo, la nueva directiva establece que dichos requisitos deberán definirse mediante el empleo de un “marco metodológico comparativo” común, que debía haber sido establecido



antes de julio de 2011, conforme a los criterios ya definidos en el Anexo III de la directiva, sin que hasta la fecha se haya materializado tal definición.

Como principal novedad a este respecto, la Directiva establece que estos nuevos requisitos de eficiencia deberán establecerse en base a un “*nivel óptimo de rentabilidad*” para cuyo cálculo deben tenerse en consideración tanto los costes de inversión, como los de mantenimiento, operación, consumo energético, etc. calculados a lo largo del ciclo de vida del edificio. De esta forma, el punto óptimo será aquel que alcance el equilibrio entre las inversiones realizadas y los ahorros económicos derivados de las mismas a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Este aspecto de la nueva directiva es especialmente relevante en el alcance del presente trabajo, ya que introduce el concepto de “*ciclo de vida*” de la vivienda/edificio que fundamenta el estudio técnico expuesto en puntos posteriores, entre los conceptos estructurales del marco normativo europeo, evidenciando así la trascendencia del mismo en cualquier estudio de carácter energético.

En la primera de las revisiones previstas hasta el año 2020 del Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE, se realizará la necesaria confluencia de este documento con los requisitos de calificación energética, estableciendo nuevas y más estrictas exigencias de eficiencia que se apoyen sobre dicha calificación. Esta convergencia permitirá plantear las siguientes revisiones de forma racional y escalonada para alcanzar los ambiciosos objetivos de la Directiva para 2020.

Consecuencia de lo anterior, la certificación energética y la calificación energética, como procesos normativos complementarios, uno ligado a objetivos de transparencia del mercado, con su propio Real Decreto, y otro a las exigencias básicas de eficiencia energética que formarán parte del CTE revisado, serán elementos claves en la política energética reglamentaria en el ámbito de la edificación española, dotando de coherencia y unidad a la misma.

En lo relativo a edificios existentes, y al margen de lo indicado con carácter general, se pretende, mediante la futura Ley de Calidad y Sostenibilidad del Medio Urbano, favorecer la implantación de la certificación energética de dichos edificios, prevista como parte obligatoria de las Inspecciones Técnicas de Edificios.

Edificios de consumo de energía casi nulo.

El artículo 9 de la Directiva de 2010 establece que todos los edificios construidos en los estados miembros a partir del 31 de diciembre de 2020 deberán ser edificios de consumo energético casi nulo, adelantándose dicha exigencia al 31 de diciembre de 2018 para los nuevos edificios que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas.

Los edificios de consumo de energía casi nulo se definen como aquellos que tienen un elevado nivel de eficiencia energética, en los que la pequeña cantidad de energía que se consume deberá quedar cubierta, en un elevado porcentaje, mediante el empleo de fuentes de producción energética de carácter renovable, incluyendo la producción “*in-situ*”.

La Directiva establece que la definición exacta de este tipo de edificios en cada Estado miembro deberá reflejar sus condiciones nacionales, regionales o locales e incluir un indicador numérico de uso de energía primaria, expresado en kWh/m² al año. En España, y a fecha de hoy, aun no se ha procedido a la definición de este tipo de edificios, ni al establecimiento del valor de consumo energético correspondiente. Sin embargo, si se parte de la base de que la definición de “*edificio de consumo de*



energía casi nulo” debería fundamentarse en el trabajo ya desarrollado en el ámbito de la calificación de eficiencia energética de edificios, parece razonable suponer que dicha definición no debería implicar algo muy distinto a lo que actualmente se considera clase energética A.

Eficiencia en el uso final de la energía.

La Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril, estableció un marco normativo para la eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos. Entre otros aspectos, esta Directiva pretende desarrollar herramientas que permitan optimizar el consumo de energía final en el sector de la construcción, haciendo especial énfasis, dada su relevancia social y su potencial ejemplarizante, en las edificaciones de titularidad pública.

Se destaca, a este respecto, el importante potencial del ahorro energético existente en el sector público, potencial que, en cierta medida, resulta complicado aprovechar por la presencia de una serie de barreras de tipo administrativo, legal, económico y tecnológico que lo dificultan. Así, por ejemplo, en el presupuesto del sector público, la partida destinada a inversión en tecnologías consumidoras de energía es diferente de la destinada al mantenimiento y suministro energético de estos mismos equipos. Esta división en áreas incomunicadas deriva en la existencia de serias dificultades a la hora de renovar el equipamiento de los edificios con criterios de eficiencia energética.

Las empresas de servicios energéticos (ESE's) surgen así como la solución a esta problemática, unificando, en un mismo contrato, la compra de energía, su gestión, el mantenimiento de las instalaciones consumidoras y la ejecución de medidas de ahorro, eficiencia y aprovechamiento de energías renovables.

Teniendo en cuenta lo anterior, y dado que la Directiva de 2006 así lo exige, resulta necesario que el sector público potencie, mediante actuaciones sobre su propio patrimonio, la realización de inversiones dirigidas a la mejora de la eficiencia energética de sus edificios de forma global e integrada, que afecten a la contratación del suministro energético, la gestión, el mantenimiento y la ejecución de las mencionadas medidas de ahorro y eficiencia

A este respecto, se espera que el desarrollo de la modalidad de contratación de servicios energéticos mediante empresas del sector privado ayude a cumplir con los objetivos de ahorro y suponga el estímulo necesario a la iniciativa privada para la creación de un mercado de servicios energéticos competitivo y dinámico. Ahora bien, el impulso de este modelo de negocio requiere de un marco jurídico que ofrezca la adecuada seguridad y estabilidad, la mejora del acceso a la financiación y la potenciación de la contratación pública en este ámbito

La modificación efectuada sobre la ley 30/2007 de Contratos del Sector Público, mediante la que se dio cabida a nuevos tipos de contrato, tales como los de Colaboración Público Privada, que permitieran la contratación de servicios energéticos, y la presentación y ejecución de dos planes estratégicos, cuyo objetivo principal consiste en la promoción de la contratación de empresas de servicios energéticos en la Administración General de Estado, Autonómica y Local, fundamentan los pilares sobre los que se ha desarrollado el marco legislativo y jurídico anteriormente referido.



Capítulo 4.- Análisis de Ciclo de Vida. Conceptos básicos.

Introducción

El fuerte desarrollo sufrido por el sector de la construcción durante las dos últimas décadas, expuesto y analizado en capítulos anteriores, ha venido acompañado e influenciado por el creciente interés y aumento de la sensibilidad que la sociedad ha experimentado en los aspectos relacionados con el impacto medioambiental que los diferentes procesos industriales, entre los que, inevitablemente se debe incluir al de la edificación, conllevan.

Estos factores, unidos a los avances tecnológicos y científicos en la materia, han derivado en el desarrollo de diferentes normativas cuyo fin último es el de reducir el impacto que este sector supone sobre el medio ambiente, sin que por ello se reduzcan las prestaciones de su producto final, esto es, sin que se reduzcan las prestaciones de los edificios construidos.

Fundamentalmente, el desarrollo normativo se ha orientado hacia la reducción de la energía consumida por los edificios como consecuencia de su operación diaria (es decir, reducción de la energía consumida en los servicios de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria, etc.), introduciendo nuevas y mayores exigencias técnicas a los materiales y equipos que componen el edificio. Sin embargo, hasta la publicación de la Directiva 2010/31/CE, en la que aparece tímidamente y por primera vez, las diferentes normas y leyes publicadas no han tenido en consideración el concepto de ciclo de vida de los edificios.

El Análisis del Ciclo de Vida (o LCA por sus siglas en inglés) es una técnica de asesoramiento industrial del tipo “*cradle to grave*” (de la cuna a la tumba) que se fundamenta en este concepto. Este tipo de estudios se caracterizan por la inclusión, en su alcance, de todos los procesos existentes a lo largo del ciclo de vida de un determinado producto, bien o servicio, desde su producción hasta su total desmantelamiento (Figura 9). De esta forma, resulta posible analizar y evaluar con exactitud, no solo los impactos ambientales ciertos derivados del elemento en cuestión a lo largo de su ciclo de vida, sino las variaciones sufridas, una a una o en global, al realizar modificaciones en alguna de las fases que lo componen.

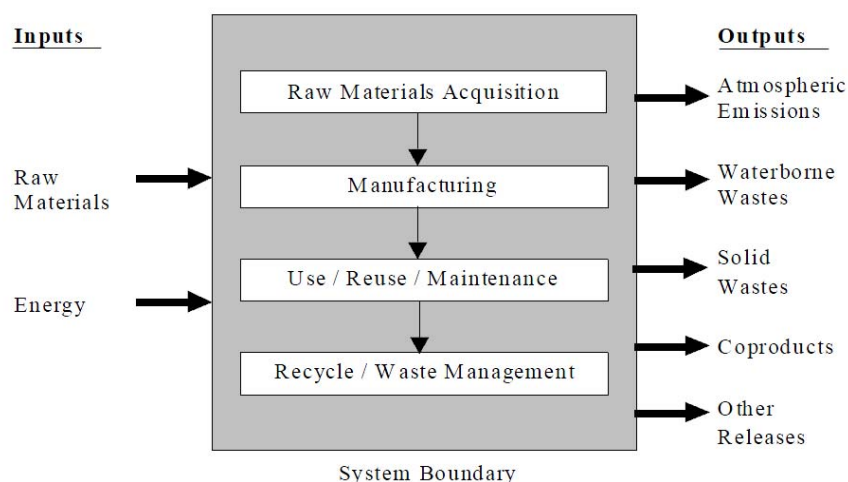


Figura 9.- Esquema básico de las etapas de un Análisis de Ciclo de Vida



De esta forma, y en base a lo estipulado en la Directiva Europea 2010/31/CE, parece razonable suponer que el enfoque normativo del sector de la construcción nacional evolucionará, a lo largo de los próximos años, incorporando, entre sus pilares básicos, el mencionado concepto de “*ciclo de vida de la edificación*”, de forma que las medidas de ahorro y eficiencia energética a implementar sobre dicho sector queden adecuadamente acreditadas por técnicas de este tipo.

Conceptos básicos del LCA

La norma UNE EN ISO 14.040 define el análisis de ciclo de vida como una técnica que permite la evaluación cuantitativa de los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados a un determinado producto, bien o servicio mediante:

1. La recopilación, en un inventario, de todos los flujos de energía y materia empleados en su fabricación, uso, desmantelamiento, etc.
2. La evaluación del potencial de impacto ambiental asociado a cada entrada o salida del sistema bajo análisis.
3. La interpretación de los resultados obtenidos con vistas a la mejora en los procesos de producción, desarrollo, etc.

El alto grado de difusión que este tipo de estudios ha tenido en la comunidad industrial a lo largo de los últimos años, así como la complejidad técnica que el desarrollo de los mismos supone, ha derivado en la protocolización de la metodología a emplear para su ejecución.

Este esfuerzo normalizador queda plasmado en la serie de normas UNE EN ISO 14.040 a 14.044, siendo su principal ventaja la estandarización de los procedimientos y resultados del estudio, circunstancia que facilita la comprensión e interpretación de los mismos.

Según los conceptos desarrollados en la serie de normas anteriormente descritas, cualquier Análisis de Ciclo de Vida debe llevarse a cabo en cuatro fases diferenciadas y correlativas cuyos principales objetivos se resumen a continuación.

Definición de objetivos y alcance del estudio.

Es en esta etapa en la que se definirán las necesidades de tiempo y recursos para la realización del estudio.

Comprende la definición exhaustiva del producto, bien o servicio a analizar, sus principales características, las causas que originan el análisis, las expectativas previstas y objetivos de aplicación de resultados obtenidos, etc.

Se debe especificar, de forma clara y concisa, todas aquellas premisas y limitaciones que vayan a ser consideradas en el estudio, las diferentes técnicas de aproximación que se pretenda emplear para la obtención de determinados resultados (por ejemplo, la metodología de deslocalización en el supuesto de que la misma vaya a resultar necesaria), los requisitos de calidad que se exigirán sobre los datos a recolectar, la exactitud que se pretende alcanzar en los resultados, etc.

Otro aspecto de crucial importancia que deberá ser especificado en este punto consiste en el tipo de datos que se pretende facilitar al cliente, así como la estructura y contenidos mínimos que deberán aparecer en el informe de resultados.



De todo lo anteriormente expuesto, resulta evidente que cualquier decisión que se adopte en esta fase del estudio derivará en un cierto impacto sobre el resto de etapas del proceso, siendo por tanto recomendable un elevado grado de definición en los aspectos anteriormente comentados.

Inventario de Ciclo de Vida

Esta fase consiste en la cuantificación de las entradas y salidas del sistema en estudio, entre las que pueden incluirse todas o algunas de las siguientes: uso de recursos (materias primas y energía), emisiones a la atmósfera, suelo y aguas, generación de residuos, etc.

Según la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), los aspectos claves que deben guiar el proceso de inventariado son siguientes:

1. Desarrollo de un diagrama de flujo del proceso bajo análisis. Permite visualizar de una forma rápida y sencilla, los principales flujos de materia, energía o cualquier otro recurso o emisión generados en el proceso. Así mismo, los límites en el alcance del estudio quedan claramente plasmados.
2. Desarrollo de un plan de recogida de datos mediante el que asegurar que se alcanzan las expectativas existentes por cuanto a la calidad y exactitud de los datos recopilados.
3. Recolección de datos. En aras de minimizar el tiempo invertido en la construcción del inventario, puede resultar productivo el empleo de algún tipo de software especializado en la materia.
4. Presentación de los datos. La presentación de los datos en forma de tablas y gráficas suele resultar especialmente intuitiva y concisa

Evaluación del impacto.

Es en esta etapa en la que se lleva a cabo la asignación del potencial impacto que tienen, sobre la salud humana y el medio ambiente, los resultados obtenidos en el inventario del ciclo de vida.

Esta fase supone la principal diferencia entre los análisis de ciclo de vida y otras técnicas de análisis ambiental, ya que no pretende cuantificar un determinado impacto actual relacionado con el proceso/producto, sino establecer una relación entre dicho sistema y sus potenciales efectos ambientales, considerados de forma global.

Se introduce así el concepto de “*categoría de impacto*”, definido como la consecuencia que, sobre la salud humana o el medio ambiente, podría resultar derivada de las entradas y salidas de un determinado sistema.



Impact Category	Scale	Examples of LCI Data (i.e. classification)	Common Possible Characterization Factor	Description of Characterization Factor
Global Warming	Global	Carbon Dioxide (CO ₂) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Methane (CH ₄) Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Global Warming Potential	Converts LCI data to carbon dioxide (CO ₂) equivalents Note: global warming potentials can be 30, 100, or 500 year potentials.
Stratospheric Ozone Depletion	Global	Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Halons Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Ozone Depleting Potential	Converts LCI data to trichlorofluoromethane (CFC-11) equivalents.
Acidification	Regional Local	Sulfur Oxides (SO _x) Nitrogen Oxides (NO _x) Hydrochloric Acid (HCl) Hydrofluoric Acid (HF) Ammonia (NH ₃)	Acidification Potential	Converts LCI data to hydrogen (H ⁺) ion equivalents.
Eutrophication	Local	Phosphate (PO ₄) Nitrogen Oxide (NO) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Nitrates Ammonia (NH ₃)	Eutrophication Potential	Converts LCI data to phosphate (PO ₄) equivalents.
Photochemical Smog	Local	Non-methane hydrocarbon (NMHC)	Photochemical Oxidant Creation Potential	Converts LCI data to ethane (C ₂ H ₆) equivalents.
Terrestrial Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to rodents	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Aquatic Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to fish	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Human Health	Global Regional Local	Total releases to air, water, and soil.	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Resource Depletion	Global Regional Local	Quantity of minerals used Quantity of fossil fuels used	Resource Depletion Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of resource used versus quantity of resource left in reserve.
Land Use	Global Regional Local	Quantity disposed of in a landfill or other land modifications	Land Availability	Converts mass of solid waste into volume using an estimated density.
Water Use	Regional Local	Water used or consumed	Water Shortage Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of water used versus quantity of resource left in reserve.

Figura 10.- Categorías de impacto más habituales e indicadores ambientales relacionados

Interpretación de resultados.

La interpretación es una evaluación sistemática de los resultados obtenidos en las fases anteriores del análisis. Según la norma UNE EN ISO 14.040, los principales objetivos de esta etapa son:

1. Analizar los resultados, extraer conclusiones, explicar las limitaciones, y establecer recomendaciones basadas en los datos obtenidos en las etapas previas del análisis, reproduciendo los resultados obtenidos de una forma transparente.
2. Presentar de forma sencilla y fácilmente comprensible, completa y consistente los resultados del análisis, conforme a las pautas marcadas en el apartado de definición del alcance y objetivos.

A este respecto, conviene destacar que la interpretación de los resultados no siempre será sencilla debido, entre otros, a las estimaciones, aproximaciones, e hipótesis que habrá resultado necesario realizar a lo largo del proceso.



Puede llegar a darse el caso, en un estudio comparativo, que los resultados obtenidos no permitan establecer con claridad cuál de las dos opciones resulta preferible debido a la incertidumbre de los resultados, sin que por ello deba considerarse que el análisis ha sido infructuoso ya que siempre supondrá un aumento efectivo en la cantidad de información disponible para la toma de decisiones.

Revisión crítica.

Este concepto aparece como requerimiento en la norma UNE EN ISO 14.040, especialmente en aquellos estudios cuyo objetivo es comparativo.

Los principales objetivos perseguidos en esta etapa consisten en la verificación de los siguientes aspectos:

1. La metodología empleada en el análisis es consistente con la desarrollada por la citada norma.
2. Los métodos empleados son técnica y científicamente válidos.
3. Los datos empleados son razonables y acordes al objetivo del estudio.
4. Las interpretaciones reflejan las limitaciones identificadas y el objetivo del estudio.
5. El informe es claro y consistente.

La normativa específica, asimismo, tres variedades de revisión posibles, caracterizadas por el responsable asignado a su realización y cuya selección depende del objetivo del análisis realizado:

1. Revisión por experto interno.
2. Revisión por experto externo.
3. Revisión por partes interesadas.



Capítulo 5.- Análisis del ciclo de vida de una vivienda media en Murcia

Alcance del estudio

El proyecto expuesto en los siguientes apartados centra su atención en el estudio de los flujos de energía entrante y saliente que se producen a lo largo del ciclo de vida de una vivienda, sin tener en consideración ningún otro tipo de recursos ni categorías de impacto de entre las habitualmente consideradas en un análisis LCA

La información obtenida de este tipo de simplificaciones, denominadas por algunos autores como “*Análisis Energético del Ciclo de Vida*”, resultan de especial utilidad en el sector de la edificación al permitir detectar, con una reducción significativa del tiempo y recursos necesarios para el desarrollo del análisis, los puntos “*débiles*” del sector, facilitando, a un tiempo:

1. El desarrollo de políticas y requisitos dirigidos a la reducción del consumo y aumento de la eficiencia en el sector.
2. La selección de materiales y sistemas constructivos que minimicen el consumo global del edificio.
3. El aumento de la información disponible por parte de los usuarios en relación a las características del edificio.

Metodología de cálculo

Tal y como puede observarse en la Figura 11, resulta habitual la subdivisión del ciclo de vida del producto estudiado (edificio) en tres partes diferenciadas:

1. Construcción. Como su propio nombre indica, esta etapa se refiere a los diferentes procesos asociados a la erección del edificio. Se incluyen en la misma la fabricación y el transporte, hasta el lugar de ejecución, de los productos, equipos e instalaciones que formarán parte del edificio una vez concluya esta etapa, así como los diferentes procesos constructivos necesarios para la ejecución del mismo (excavación del terreno, vertido de hormigón, barrenado de pilotes, etc.).
2. Operación. Se consideran incluidos en esta etapa el conjunto de procesos derivados del uso diario del producto analizado. Para el caso de la edificación, estos procesos suelen incluir el consumo energético asociado al mantenimiento de unas determinadas condiciones térmicas, el consumo diario de agua, la producción de residuos, la demanda eléctrica asociada a los equipos e instalaciones existentes en el mismo (electrodomésticos, iluminación, etc.)...

Resulta habitual considerar incluidos en esta etapa aquellos procesos que se derivan de las necesidades de mantenimiento del edificio, tales como el pintado de paredes, sustitución de acabados, etc.

3. Demolición. Es la última etapa del ciclo de vida del edificio, e incluye los trabajos de demolición, la retirada de escombros hasta los vertederos y plantas de reciclado, etc.



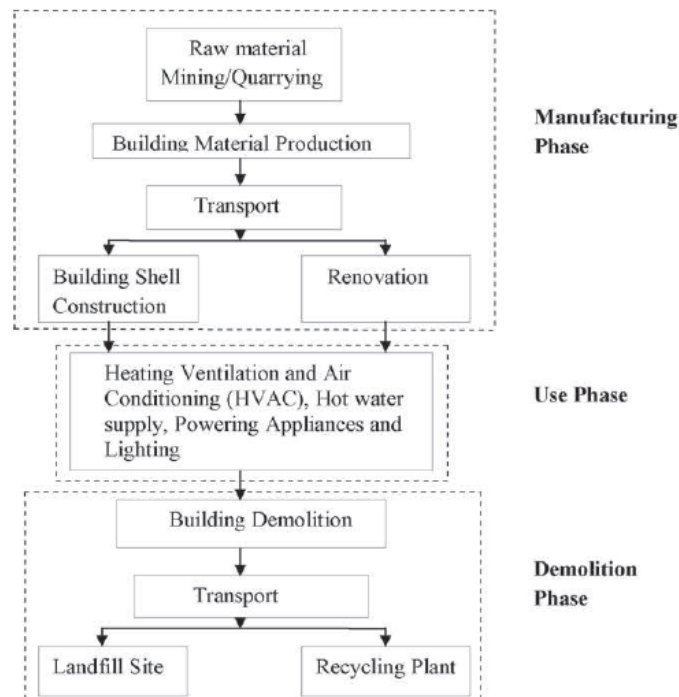


Figura 11.- Diagrama de flujo para LCA correspondiente a un edificio.

Cada uno de los procesos incluidos en las diferentes fases en las que se divide el ciclo de vida de un edificio tiene asociado un determinado flujo de energía, cantidad que resulta necesario determinar de cara al análisis conjunto del proceso. Los fundamentos metodológicos en los que se basa el cálculo de cada uno de estos flujos de energía se describen en los siguientes puntos.

Energía embebida

El término energía embebida se asocia al consumo energético derivado de la fase de construcción del edificio. Corresponde al contenido energético de todos los materiales y equipos existentes en el edificio y sus instalaciones, así como al consumo de energía asociado a los procesos de construcción del mismo.

En el contenido energético de los materiales constituyentes del edificio se incluye la energía necesaria para la adquisición de las materias primas, la necesaria para su elaboración/fabricación y, cuando corresponda, su transporte hasta el lugar de construcción.

$$EE = \sum m_i M_i + E_c$$

Donde:

$EE \rightarrow$ Energía embebida.

$m_i \rightarrow$ Cantidad del material i .

$M_i \rightarrow$ Contenido energético del material i .

$E_c \rightarrow$ Energía empleada para la construcción del edificio.



Energía de operación

Como se ha visto anteriormente, este término se compone de dos conceptos diferenciados:

1. Energía de servicio. Energía consumida en el día a día del edificio, esto es, el consumo derivado de los sistemas de climatización, iluminación, electrodomésticos, etc.
2. Energía de mantenimiento. Energía necesaria para ejecutar las labores de mantenimiento necesarias en el edificio: pintado de paredes, sustitución de acabados, etc.

En base a las hipótesis adoptadas para el estudio desarrollado, el cálculo de cada uno de estos conceptos se realiza en base a las siguientes expresiones

$$E_s = C_m \times k_{Tep \rightarrow MJ} \times L_b$$

Donde:

$E_s \rightarrow$ Energía de servicio consumida por la vivienda de referencia a lo largo de su ciclo de vida (MJ).

$C_m \rightarrow$ Coeficiente de consumo medio de los hogares españoles en 2010 (Tep/año).

$K_{Tep \rightarrow MJ} \rightarrow$ Coeficiente de transformación entre Tep y MJ

$L_b \rightarrow$ Ciclo de vida considerado para la vivienda (años).

y

$$E_m = \sum_i E_i \times n_i$$

Donde:

$E_m \rightarrow$ Energía de mantenimiento consumida por el edificio de referencia a lo largo de su ciclo de vida.

$E_i \rightarrow$ Energía embebida por el elemento mantenido i.

$n_i \rightarrow$ Número de intervenciones de mantenimiento esperadas sobre el elemento i a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Energía de demolición.

Es la energía que resulta necesario consumir para, una vez alcanzado el fin de su vida útil, demoler el edificio y transportar los residuos y escombros resultantes hasta vertederos o plantas de reciclaje.

$$DE = E_D + E_T$$



Donde:

DE → Energía de demolición del edificio.

E_D → Energía empleada en la demolición.

E_T → Energía empleada en el transporte de los residuos y escombros generados.

Energía total del ciclo de vida

La energía globalmente consumida por el edificio a lo largo de su ciclo de vida puede, entonces, expresarse como la suma de todos los conceptos anteriormente desarrollados:

$$LCE = EE_i + OE + DE$$

Definición de objetivos

El objetivo fundamental del estudio desarrollado consiste en el cálculo detallado de la energía consumida por una “*vivienda media*” de la ciudad de Murcia a lo largo de su ciclo de vida. Esto es, se procede a la presentación de los resultados correspondientes a un análisis energético del ciclo de vida de la citada vivienda media.

De las tres fases en las que puede dividirse el ciclo de vida de la edificación, i.e. construcción, operación y demolición, el presente estudio se centra, únicamente, en las dos primeras, al considerar que el porcentaje de aportación de la tercera de ellas al consumo global de la construcción resulta despreciable.

Se determinará, entonces, el contenido energético del edificio, consecuencia de la energía embebida de los materiales que lo componen y los principales procesos constructivos necesarios para erigir la edificación, y el consumo energético del mismo a lo largo de su vida útil, permitiendo así establecer el porcentaje de aportación de cada una de estas fases sobre el consumo global de la construcción a lo largo de su ciclo de vida.

Enmarcados en la fase de construcción, se pretende calcular el contenido energético de todos los materiales que componen el edificio, así como el valor correspondiente a las agregaciones de estos en forma de elementos constructivos (cimentación y estructura, fachadas, tabiquería, revestimientos, etc.).

Se pretende asimismo valorar, tanto a nivel individual como agregado, la variabilidad introducida en los resultados como consecuencia del empleo de datos obtenidos en diferentes fuentes.

En último término, se procederá a la comparación de los resultados obtenidos con aquellos publicados en otros estudios de similares características, lo que permitirá establecer si el consumo energético de la “*vivienda media*” de la ciudad de Murcia se ajusta a la media mundial, o si, por el contrario, existen diferencias significativas en dicho parámetro.



Definición de la unidad funcional

Como se ha visto en el apartado anterior, el objeto del análisis desarrollado es la “*vivienda media*” de la ciudad de Murcia. Resulta, por tanto, necesario, proceder a la definición de este concepto de cara a la selección de una unidad funcional adecuada para el análisis del ciclo de vida en cuestión.

Se considera “*vivienda media*” aquella cuyas principales características constructivas, (tipología, superficies, materiales, etc.) se ajustan a la media de las correspondientes al parque inmobiliario de la localidad en cuestión, en este caso, el de la ciudad de Murcia.

Entonces, para el caso que nos ocupa, la “*vivienda media*” se caracteriza por tratarse de un apartamento, incluido en un edificio de viviendas, de superficie construida entre 90 y 110 m², compuesto por tres dormitorios, dos baños, un salón y una cocina cuyas superficies pueden variar de unos casos a otros. Habitualmente, la “*vivienda media*” dispone de una plaza de garaje y un trastero, ubicados en zonas comunes del edificio, normalmente el sótano.

Se define, así, la unidad funcional del proyecto desarrollado como **el m² de superficie habitable en un edificio de viviendas**. Esta definición prorratea el gasto energético asociado al conjunto del edificio entre la superficie del mismo que se destina a uso vivienda.

Selección de la vivienda. Características

De lo expuesto en el apartado anterior, y teniendo en consideración la definición aportada para la unidad funcional del proyecto, se deduce la necesidad de seleccionar, como construcción de referencia para el desarrollo del análisis de ciclo de vida, un edificio destinado a uso residencial en cuyo interior se ubique, al menos, una vivienda de características similares a las descritas.

En base a estas prescripciones, se selecciona un edificio de reciente construcción de un barrio joven de la ciudad de Murcia, ubicado en la zona sur la misma, y cuyas principales características se describen a continuación.

Se trata de una construcción de nueve plantas y dos sótanos, con una altura media entre forjados de 2,9 metros, a excepción del forjado de planta primera, que se ubica a 4,4 metros sobre la vía pública y los forjados de los sótanos, de altura media 3 metros. El acceso al edificio se practica a nivel de planta baja lo que, teniendo en consideración la existencia de un casetón de instalaciones en la planta cubierta, deriva en una cota máxima de 33 metros sobre la vía urbana.

La superficie construida de las plantas bajo rasante, destinadas a uso aparcamiento y trastero, es de 950 m², mientras que la de las plantas construidas sobre rasante, destinadas a uso vivienda y zonas comunes del edificio, se reduce hasta los 346 m².

En su interior se distinguen seis tipos de viviendas de características diferenciadas (Tabla 2). Cuatro de ellas se repiten en los niveles primero a octavo: viviendas tipo A, B, C y D (Figura 12), apareciendo las dos últimas tipologías en el noveno piso o ático: Ático 1 y Ático 2 (Figura 13). De todas ellas, se selecciona como vivienda de referencia para el análisis de ciclo de vida, la vivienda tipo D, por ser la que mejor se ajusta a la definición considerada de “*vivienda media*” de la ciudad de Murcia.



Vivienda tipo	S. Construida (m ²)	S. Útil (m ²)	Nº de dormitorios	Nº de cuartos de baño	Lavadero
A	81,69	76,48	2	2	Si
B	63,10	54,83	2	2	No
C	66,44	58,17	2	2	No
D	92,74	85,66	3	2	Si
Ático 1	75,85	69,86	2	2	No
Ático 2	65,84	60,44	2	1	No

Tabla 2.- Características principales de las viviendas existentes en el edificio

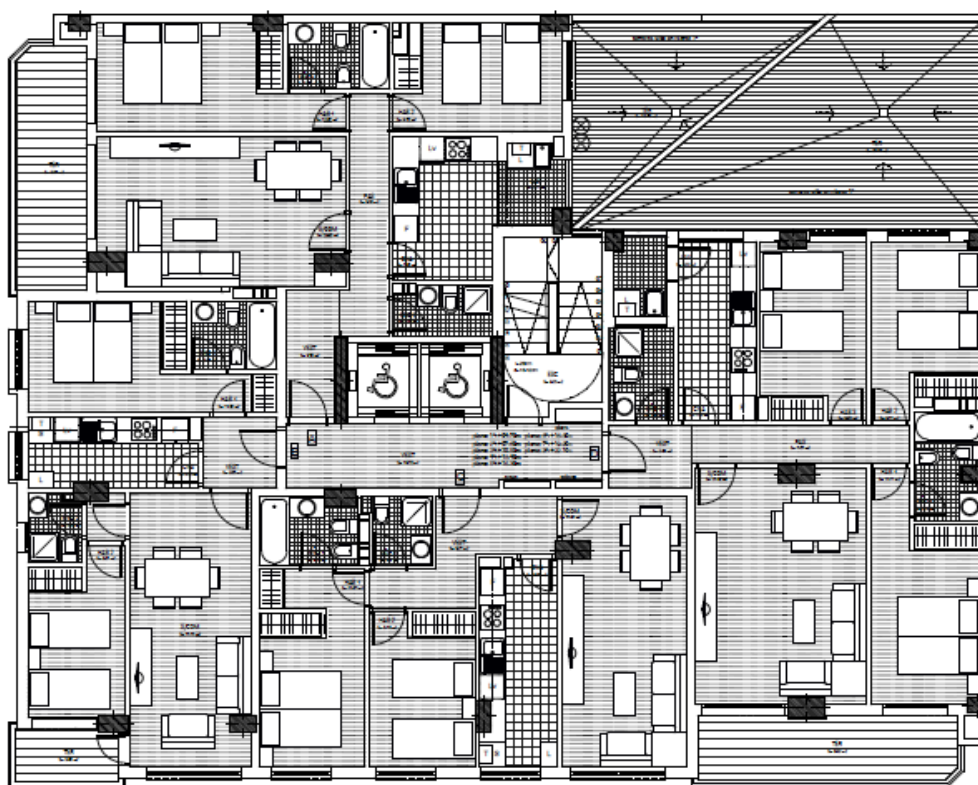


Figura 12.- Distribución de viviendas en niveles primero a octavo.

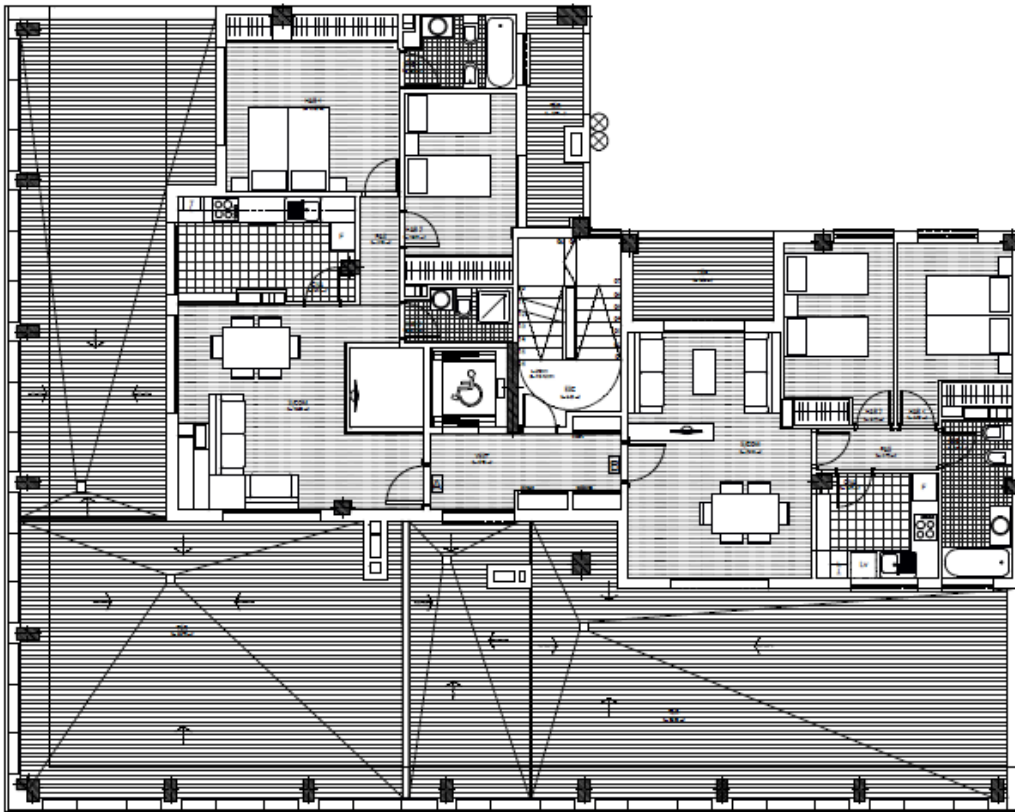


Figura 13.- Distribución de viviendas en planta ático.

La cimentación del edificio consiste en el agrupamiento de pilotes, de diámetros 55 y 65 cm y 20 metros de longitud, en diferentes encepados de geometría y características varias que, a su vez, quedan empotrados en una losa de hormigón armado de 35 cm de canto.

Por su parte, la estructura se basa en el empleo de hormigón armado como principal componente de los pilares y forjados que la conforman. Todos los forjados son reticulares, a excepción de los correspondientes a las rampas de acceso de los sótanos y parte del sótano primero, cuyos forjados consisten en losas macizas 25 y 30 cm. de canto respectivamente.

En lo que a los cerramientos y particiones se refiere, estos se ejecutan en base a fábricas de ladrillo de diferentes tamaños, colocándose, para el caso de elementos delimitadores del ambiente exterior, una capa de material aislante por el extradós de la fábrica correspondiente.

Los principales materiales empleados para los revestimientos y acabados incluyen placas de cartón-yeso, guarnecidos, azulejos cerámicos, baldosas de gres, madera laminada y pinturas de diferentes colores.

Las carpinterías exteriores son de aluminio, con vidrios dobles de entre 4 y 6 mm de espesor y cámara de aire intermedia. Disponen de rotura de puente térmico, de cara a evitar posibles condensaciones, y se ejecutan retranqueadas respecto al eje de la fachada.



Hipótesis de partida

Si bien resulta evidente el hecho de que los edificios consumen energía en todos los periodos de su ciclo de vida, es decir, desde que se extraen las materias primas que posteriormente darán lugar a los materiales de construcción, hasta el momento en que el edificio es derribado y sus escombros transportados a un vertedero o reciclados, son varios los estudios que coinciden en el escaso porcentaje que la fase de demolición supone en el cómputo energético global del edificio. De esta forma, el presente análisis ha obviado el consumo de energía correspondiente a la citada etapa, centrandó su atención en las fases de construcción y operación del edificio.

La primera de estas fases, construcción, pretende determinar el gasto energético necesario para levantar el edificio, desde que se extraen las materias primas que componen los diferentes materiales de construcción, hasta que el edificio está listo para su ocupación y puesta en funcionamiento. En este sentido, destacar que se entiende como edificio el conjunto de estructura, cerramientos, revestimientos, carpinterías y acabados, o lo que es lo mismo, su envoltura exterior e interior. No se ha tenido, por tanto, en consideración, como materiales constitutivos del edificio, las posibles instalaciones y accesorios que puedan existir en su interior.

A partir de la información contenida en el Proyecto Básico y de Ejecución del Edificio se determina el conjunto de materiales constitutivos del mismo y la cantidad existente de cada uno de ellos.

Por su parte, para la determinación de la energía contenida en cada uno de los citados materiales se recurre al empleo de bases de datos específicas para la realización de inventarios de ciclo de vida. De entre las diferentes fuentes consultadas, por su solvencia contrastada y por la existencia de datos específicos para el sector de la edificación, se seleccionan las siguientes:

1. Ecoinvent. Base de datos del Centro Suizo para Inventarios de Ciclo de Vida.
2. Inventory of Carbon and Energy (ICE). Base de datos de la Universidad de Bath.

Si bien la información recogida en ambos casos es extensa y detallada, es de destacar el hecho de que ninguna de las mismas, por sí sola, recoge el 100% de la información necesaria para desarrollar este análisis de ciclo de vida, siendo así necesario recurrir a la combinación de ambas fuentes para determinar los resultados presentados en apartados posteriores.

Una característica común de las fuentes consideradas la constituye la definición de los datos como "*cradle to gate*", esto es, especifican el contenido energético de su proceso de fabricación hasta que se encuentran listos para su transporte al punto de utilización. No obstante, habitualmente la distancia existente entre el lugar de fabricación del material en cuestión y el lugar de ejecución del edificio, es de unos pocos kilómetros, lo que deriva en un consumo energético ciertamente bajo en comparación con los valores globales del proceso de edificación. De esta forma, el inventario de ciclo de vida desarrollado no tiene en consideración el consumo de energía asociado al transporte de los materiales hasta el punto de utilización.

No se han encontrado datos, en ninguna de las fuentes referidas, relativos a la maquinaria de construcción considerada en el proyecto, siendo así necesario recurrir al empleo de datos de fabricante para estos elementos.



Dadas las frecuentes diferencias dimensionales observadas entre la unidad funcional considerada en las dos bases de datos empleadas y las unidades de medición de los distintos materiales expresadas en el proyecto de ejecución, resulta necesario recurrir al empleo de coeficientes de transformación que homogenicen la situación. Normalmente, estos coeficientes se definen a partir de características propias de cada material (densidad, rendimiento de aplicación, etc.).

Para aquellos datos obtenidos de la base de datos de la Universidad de Bath, es el propio inventario el que, generalmente, especifica las características del material considerado, por lo que la definición de este coeficiente resulta directa. Sin embargo, en los casos en los que se recurre a la base de datos Ecoinvent, esta información no se encuentra disponible. Para solventar esta situación se ha seleccionado, en cada uno de los casos en que ha resultado necesario, una determinada forma comercial del material de turno, empleando los valores especificados por el fabricante en el cálculo del coeficiente de corrección.

Este criterio, si bien aumenta la incertidumbre de los resultados obtenidos, al considerar una única forma comercial entre las existentes en el mercado (cada una de las cuales tendrá valores característicos ligeramente diferenciados), se selecciona como una solución de compromiso entre el aumento de precisión que se podría obtener mediante el promediado de diferentes formas comerciales y la reducción del tiempo empleado en tal trabajo. Adicionalmente, es de destacar el hecho de que no es frecuente la existencia de grandes variaciones entre las diferentes formas comerciales observadas.

En lo que se refiere a la fase de operación del edificio, se ha seleccionado, como vida útil del mismo, un periodo de 50 años. Este valor, habitualmente empleado en estudios similares, permite alcanzar un equilibrio cierto entre la necesaria durabilidad exigida a un bien cuya principal característica es la elevada inversión que requiere su adquisición, y la imprescindible renovación del parque inmobiliario de toda ciudad, renovación que permitirá la mejora de las características y prestaciones de las viviendas mediante empleo de los avances tecnológicos esperados.

A lo largo de este periodo, el edificio no sólo consumirá energía derivada del uso del mismo, esto es, consecuencia del consumo de sus equipos e instalaciones, sino que requerirá de ciertas actuaciones periódicas de mantenimiento. A este respecto, la Figura 14 establece el conjunto de elementos, de entre los existentes en el edificio, susceptibles de sufrir este tipo de actuaciones, así como la frecuencia de ejecución esperada para las mismas.

El cálculo de la energía anual de operación del edificio, es decir, aquella derivada del uso de sus servicios e instalaciones (climatización, iluminación, electrodomésticos, etc.) se realiza en base al coeficiente medio de consumo de los hogares españoles en el año 2010, estimado por el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía.

A este respecto, señalar que se ha optado por el empleo de dicho coeficiente, en lugar de recurrir a la simulación vía software del consumo de la vivienda seleccionada, al considerar que su carácter de promedio del consumo nacional por hogar se ajusta en mayor medida al objetivo principal del proyecto desarrollado: "*Análisis del consumo energético de una vivienda **media** de la ciudad de Murcia*".



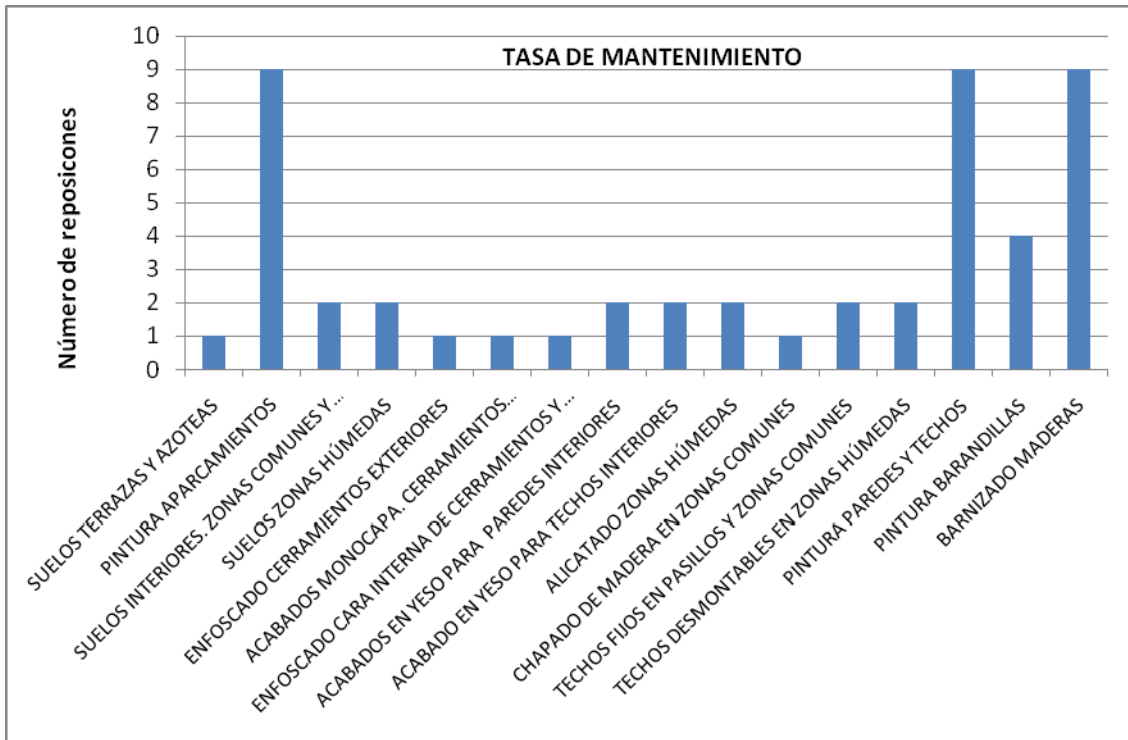


Figura 14.- Elementos sujetos a mantenimiento y número de reposiciones/actuaciones a realizar durante la vida útil del edificio bajo análisis.

Inventario de ciclo de vida

El inventario de ciclo de vida desarrollado para la fase de construcción del edificio de viviendas seleccionado se detalla en el Anexo C.

Presentación de resultados

Fase de construcción. Contenido energético de materiales y procesos constructivos

El Anexo C detalla minuciosamente el contenido energético, por unidad funcional, de cada uno de los materiales que componen el edificio analizado, detallándose, al final del mismo, el consumo energético asociado a los principales procesos constructivos considerados en el proyecto.

Para facilitar su interpretación, las Figura 15 y Figura 16 presentan, de forma gráfica, estos resultados.

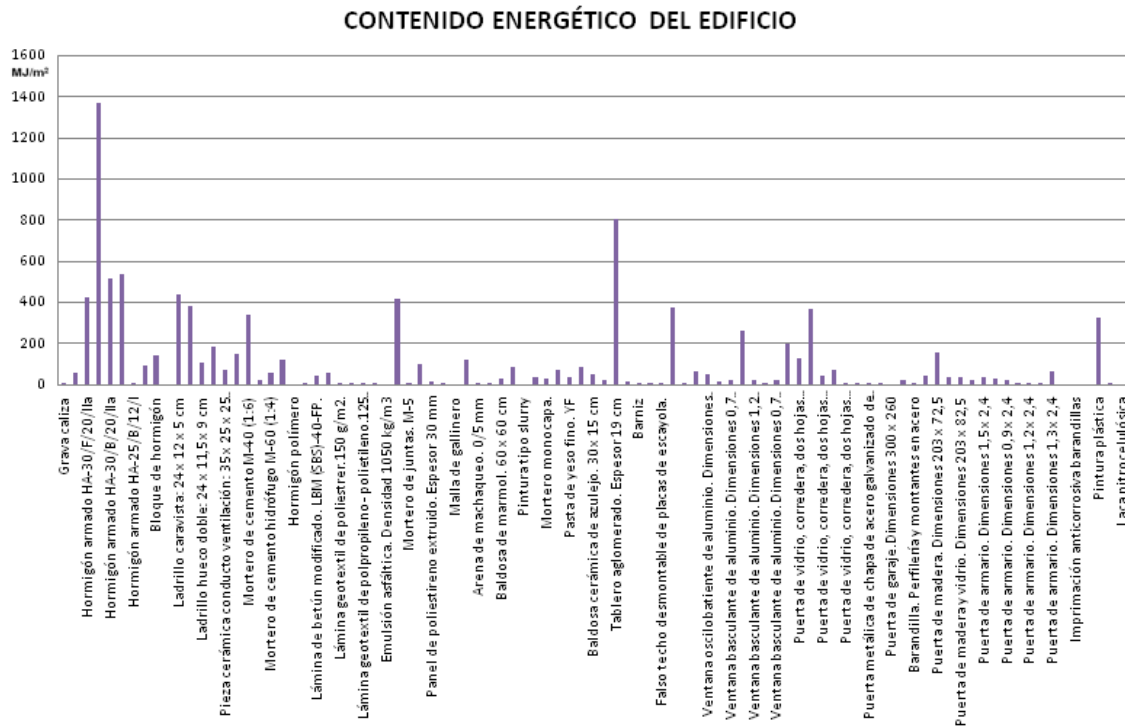


Figura 15.- Análisis comparativo de la energía embebida en los materiales constitutivos del edificio en función del origen de los datos considerados.



Figura 16.- Energía consumida por los principales procesos constructivos del edificio.



La información presentada hace referencia, exclusivamente, al contenido energético de cada uno de los materiales que pueden encontrarse en el edificio de referencia. Sin embargo, de forma general estos materiales no se presentan de forma aislada, sino que se agrupan formando diferentes elementos constructivos, tales como paredes, forjados, enlucidos, etc. A su vez, estos elementos se pueden agrupar, y habitualmente así se hace en el sector de la edificación, en los denominados “capítulos de medición”, que aglutinan aquellos elementos que tienen una misma finalidad constructiva: cimentación y estructura, tabiquería, revestimientos, carpinterías, etc.

Resulta interesante conocer el porcentaje relativo que cada uno de estos capítulos supone sobre el consumo global de energía correspondiente a la primera fase del ciclo de vida de la vivienda. La Figura 17, presenta, en forma de gráfico circular, estos datos.

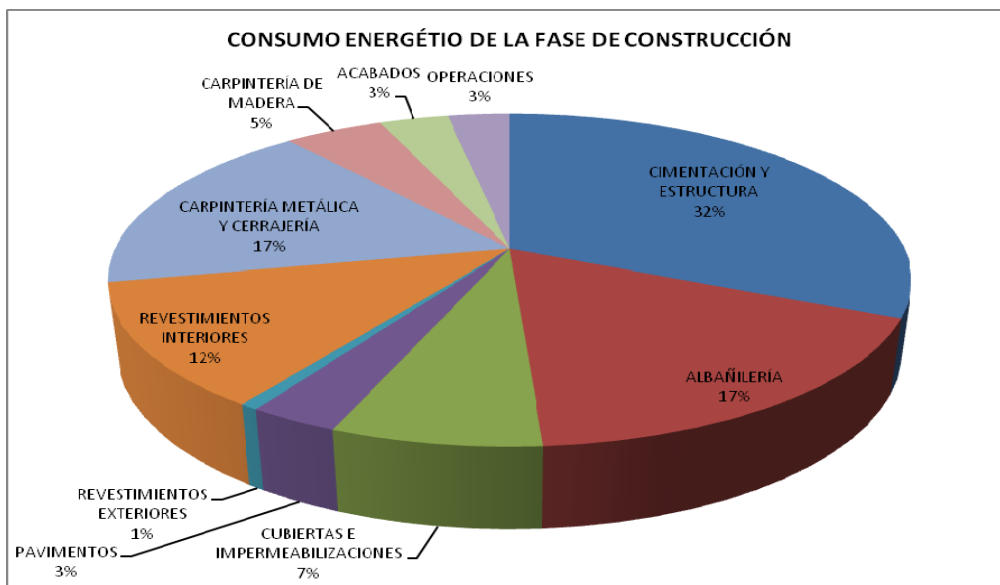


Figura 17.- Distribución, por capítulos de medición, del consumo de energía correspondiente a la fase de construcción del edificio.

Fase de operación

En base a la metodología y coeficientes expuestos en apartados anteriores, la energía de servicio resultante, por unidad funcional del proyecto, para la vivienda seleccionada es de **24830,062 MJ/m²**:

En lo que a la energía de mantenimiento se refiere, esta se obtiene mediante la determinación del contenido energético de aquellos elementos susceptibles de ser sustituidos o reparados, valor definido a partir de los datos de energía embebida de los diferentes materiales de construcción (considerados en la fase de edificación) y la composición exacta de cada elemento.

Los datos correspondientes a la energía embebida de los materiales que componen los diferentes elementos sujetos a intervenciones de mantenimiento, se obtienen de las mismas fuentes que las empleadas para el cálculo de la energía consumida en la fase de construcción. La Figura 18 presenta, de forma gráfica, la contribución relativa de cada uno de los elementos considerados en esta etapa al consumo global de la misma.

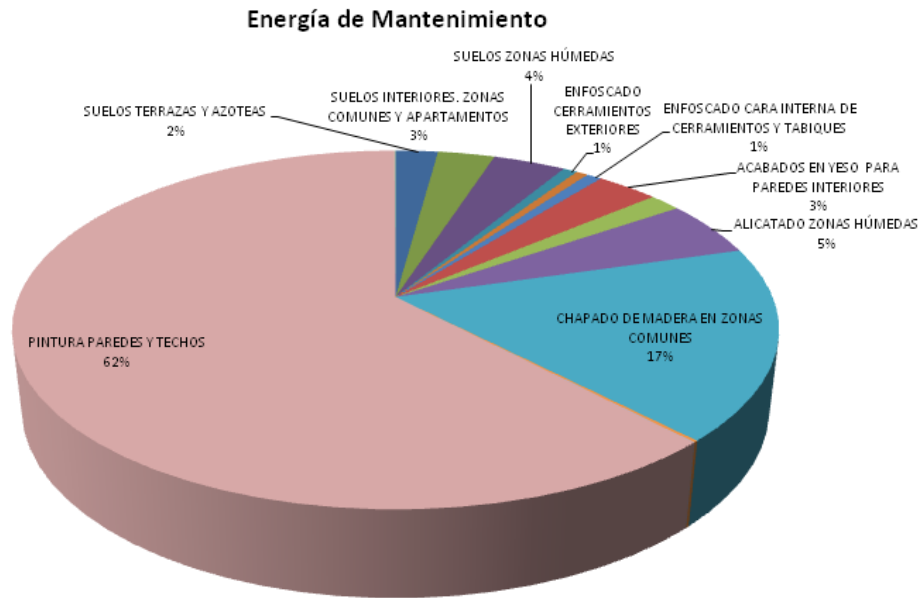


Figura 18.- Distribución del consumo energético correspondiente a la energía de mantenimiento.

Consumo total

La energía globalmente consumida por el edificio, a lo largo de los 50 años de vida útil que se han considerado, se obtiene como adición de la energía consumida en las fases de construcción y operación.

Se presenta a continuación, en forma de gráfico circular, la aportación relativa que cada una de las fases consideradas tienen sobre el consumo global del ciclo de vida de la vivienda de referencia.

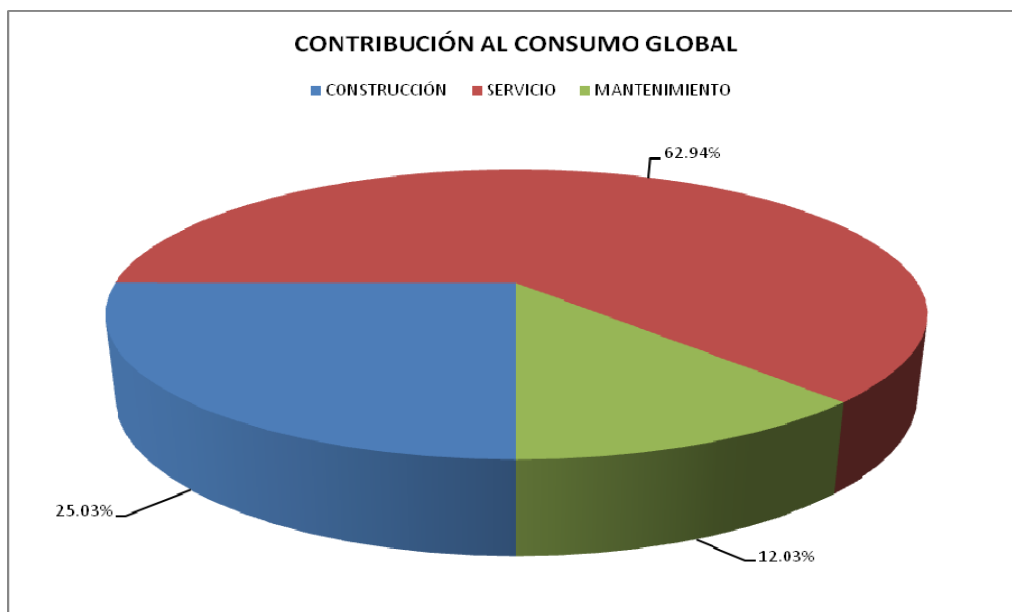


Figura 19.- Distribución relativa del consumo global de la vivienda de referencia. Caso C.



Análisis de sensibilidad

Tal y como se indica en el apartado “*Hipótesis de partida*”, los datos empleados para el cálculo de la energía embebida del edificio se obtienen mediante la combinación de la información contenida en dos bases de datos diferenciadas (Ecoinvent e ICE).

La comparación directa de los valores de energía contenida que se especifican, para la mayoría de los materiales considerados en este análisis, en cada una de estas bases de datos, permite establecer la existencia de significativas desviaciones entre los mismos.

De esta forma, parece razonable suponer que la selección de un determinado origen para los datos de partida puede, o debe, introducir un cierto nivel de incertidumbre en los resultados de cálculo obtenidos para las fases de construcción y mantenimiento del edificio y, por ende, de la energía globalmente consumida por el mismo a lo largo de su ciclo de vida.

Con objeto de cuantificar y analizar esta posible incertidumbre, se procede a la realización del análisis de sensibilidad presentado en este apartado. Se calcula así la energía consumida por el edificio en cada una de las fases que componen su ciclo de vida en los siguientes supuestos:

- Opción A. Consideración, exclusiva, de la base de datos de Ecoinvent como fuente origen de datos para la energía embebida de los materiales de construcción.
- Opción B. Consideración, exclusiva, de la base de datos de la Universidad de Bath como fuente origen de datos para la energía embebida de los materiales de construcción

De esta forma, los resultados hasta ahora presentados corresponden a un tercer supuesto de cálculo, Opción C, en la que, tomando como base la información contenida en la base de datos de Ecoinvent, se completan las lagunas de información existente, siempre que así resulte factible, con la información disponible en la base de datos de la Universidad de Bath.

El valor de la energía contenida de cada uno de los materiales considerados en este análisis LCA, para los dos supuestos de cálculo antes enunciados, se incluyen en los Anexos A y B. La Figura 20 presenta estos resultados en forma de gráfico de barras, facilitando así la labor de comparación entre los mismos.

Como era de esperar, se confirma la existencia de variaciones de importancia en el contenido energético por unidad funcional resultante para los diferentes materiales en función del origen seleccionado para la fuente de datos.



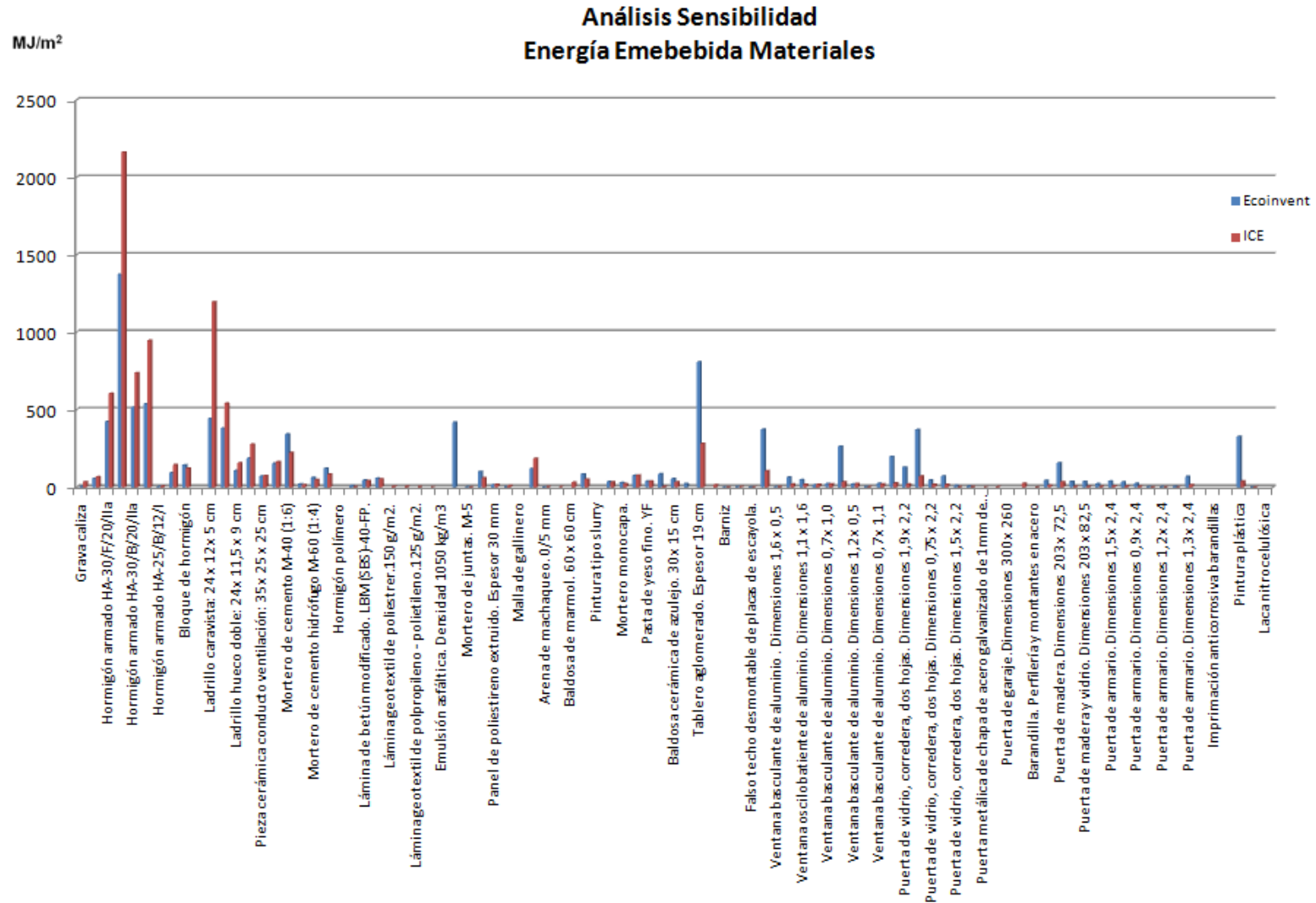


Figura 20.- Análisis de sensibilidad. Comparación de la energía contenida por unidad funcional.



Para un mayor detalle de la información presentada consúltese el Anexo H, en el que se ha incluido una fragmentación de la gráfica anterior en seis partes diferentes.

Contrastada la existencia de las variaciones comentadas, resulta interesante determinar el número de casos en los que se observan variaciones superiores a un determinado umbral. Estos umbrales, determinados conforme a los criterios a continuación expresados, permiten evaluar el grado de influencia que la fuente origen de los datos empleados tiene sobre los resultados obtenidos.

- 20% → Variaciones inferiores a este umbral pueden ser despreciables.
- 50% → Variaciones superiores a este umbral resultan significativas.
- 100% → Variaciones superiores a este umbral son extremadamente importantes

La Tabla 3 muestra estos datos en forma porcentual.

	Umbral de variación (%)		
	20	50	100
Proporción de materiales que superan el umbral de variación (%)	77,7	55,5	4,16

Tabla 3.- Influencia del origen de los datos en los resultados obtenidos

Finalmente, la Tabla 4 presenta los valores calculados para la energía consumida por el edificio de referencia en función de supuesto de estudio considerado.

	Supuesto A	Supuesto B	Supuesto C
Energía total embebida (MJ/m ²)	9.784,23	9.449,95	9.874,71

Tabla 4.- Contenido energético total del edificio de viviendas en la fase de construcción para cada uno de los supuestos analizados.

De igual forma que en el supuesto de estudio C, cuyos resultados han sido presentados en el apartado anterior, resulta de interesante analizar el porcentaje que, sobre la energía globalmente consumida en cada supuesto por la fase de construcción, corresponde a cada uno de los “capítulos de medición” considerados. Esta información se presenta, en forma de gráficos circulares en la Figura 21



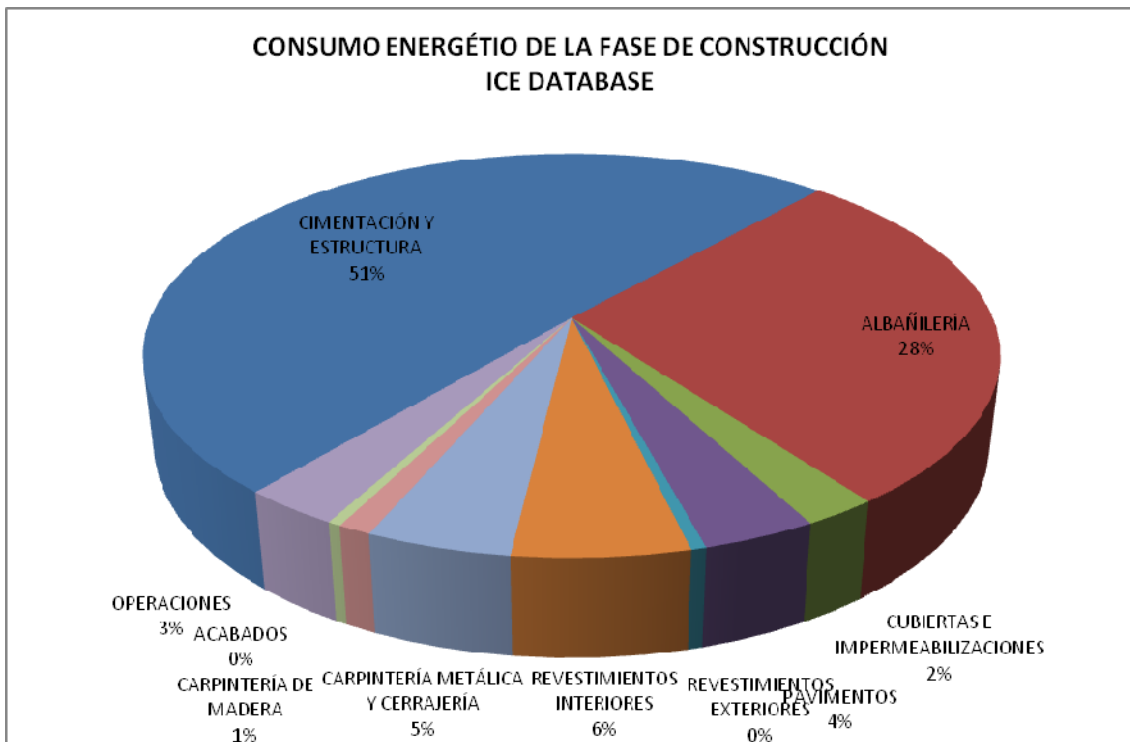
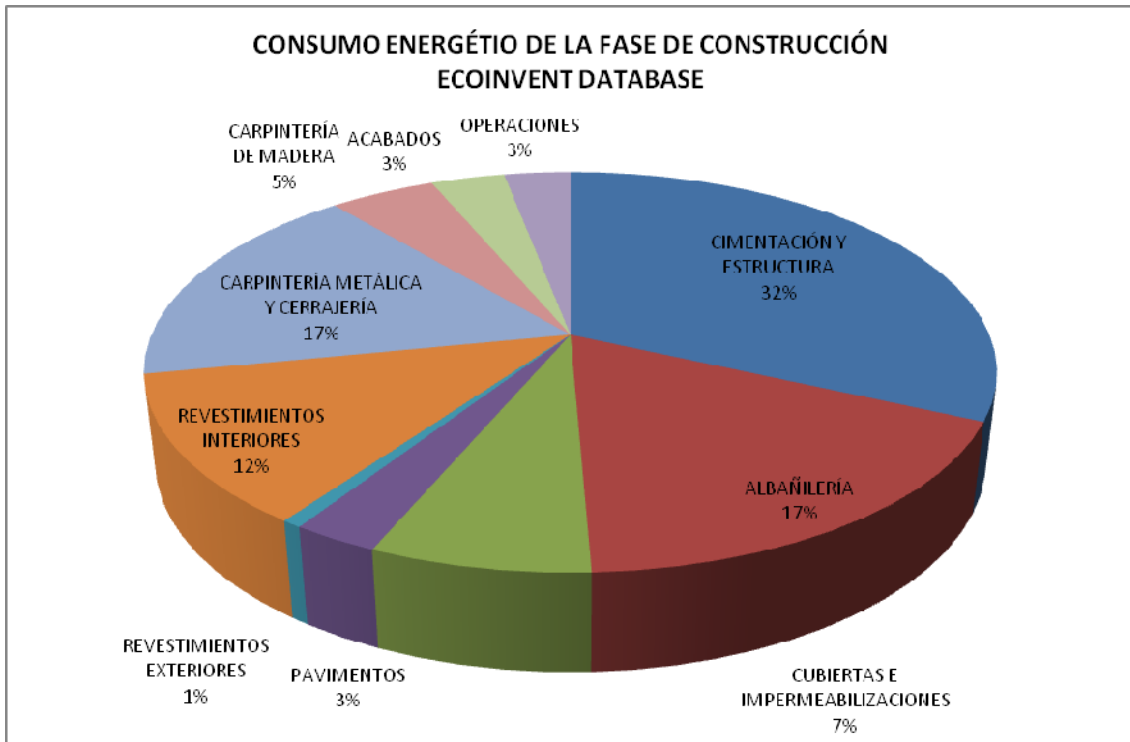


Figura 21.- Distribución, por capítulos de medición, del consumo de energía correspondiente a la fase de construcción del edificio. Supuestos A y B.



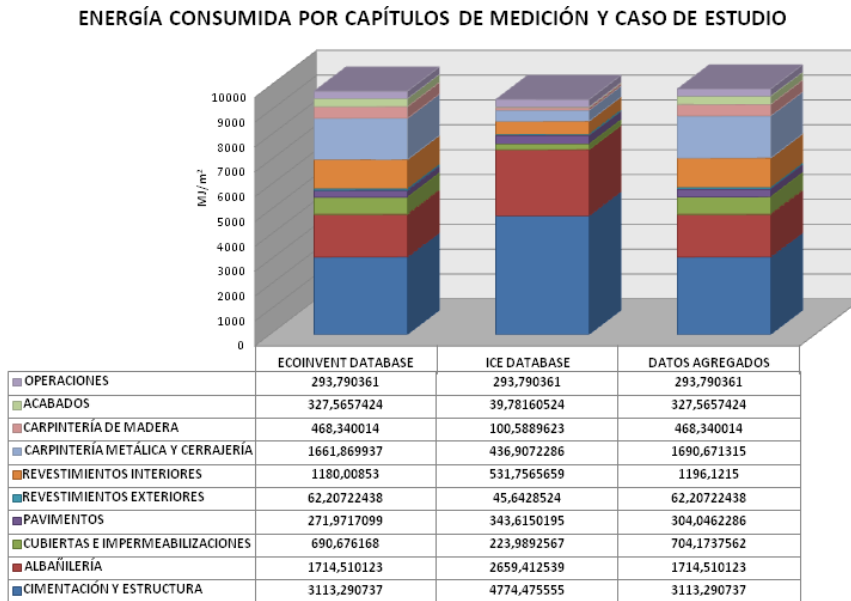


Figura 22.- Análisis comparativo de la energía consumida por capítulo de medición.

Por otra parte, y dado que la energía correspondiente a la fase de mantenimiento está directamente ligada a la energía contenida en los materiales que componen los elementos sujetos a estas actuaciones, resulta esperable la existencia de variaciones en el valor calculado para este flujo energético en función de la fuente origen seleccionada para los datos de partida. Efectivamente, la Figura 23, confirma las hipótesis enunciadas,

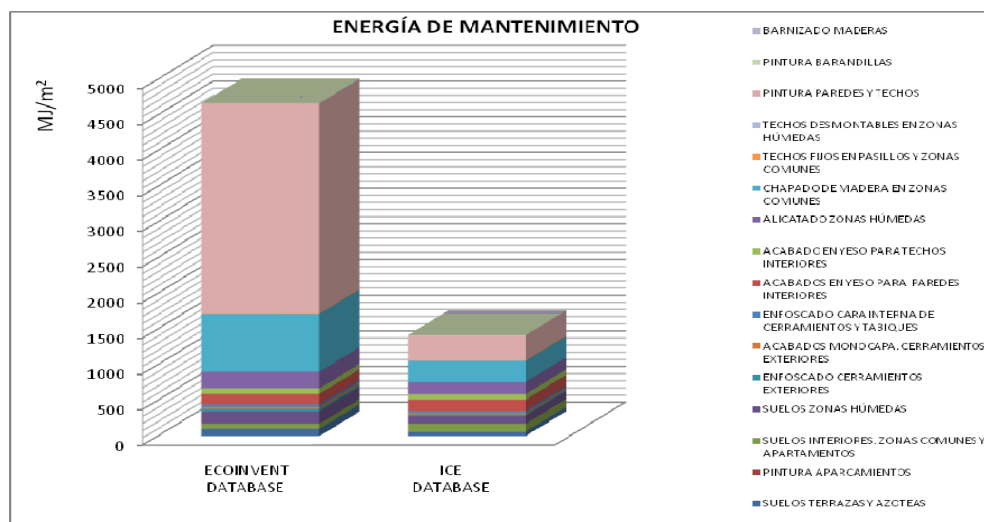


Figura 23.- Análisis comparativo de la energía consumida por mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida del edificio.

En último término se expone el valor de la energía total consumida por la vivienda a lo largo de su ciclo de vida (por unidad funcional) para cada uno de los supuestos de estudio desarrollados, indicando la aportación relativa que, en cada caso, suponen las diferentes fases del ciclo de vida de la vivienda y realizando la comparación gráfica entre los tres supuestos en cuestión.

	ENERGÍA CONSUMIDA (MJ/m ²)			TOTAL
	CONSTRUCCIÓN	SERVICIO	MANTENIMIENTO	
ECOINVENT DATABASE	9784,230546	24830,06254	4665,484677	39279,7778
ICE DATABASE	9449,959945	24830,06254	1414,638135	35694,6606
DATOS AGREGADOS	9874,717002	24830,06254	4748,048524	39452,8281

Tabla 5.- Resumen de los datos de consumo energético correspondientes a las diferentes etapas del ciclo de vida del edificio y consumo total obtenido para cada caso de estudio.

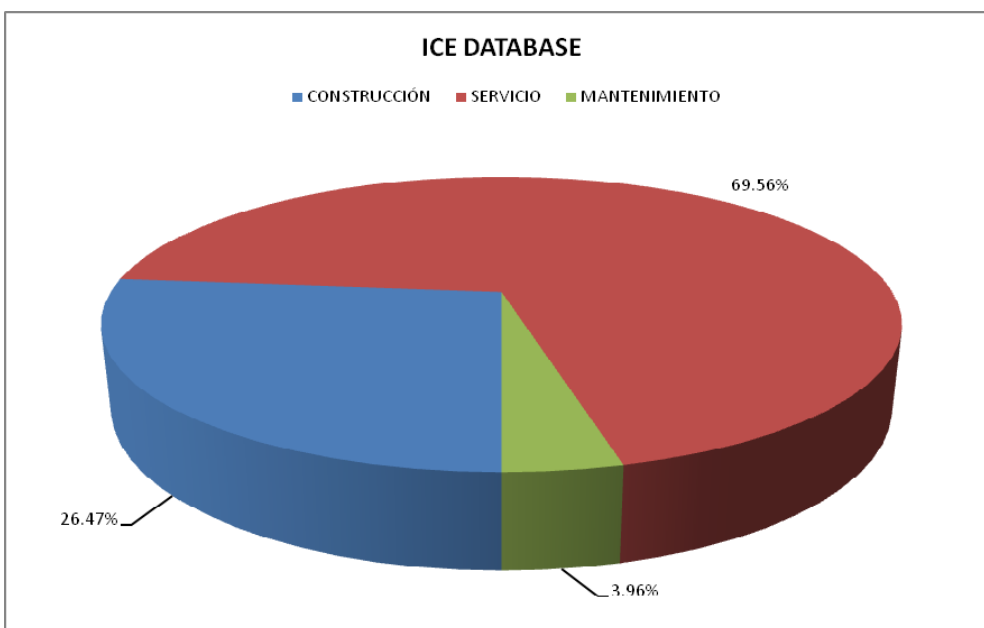
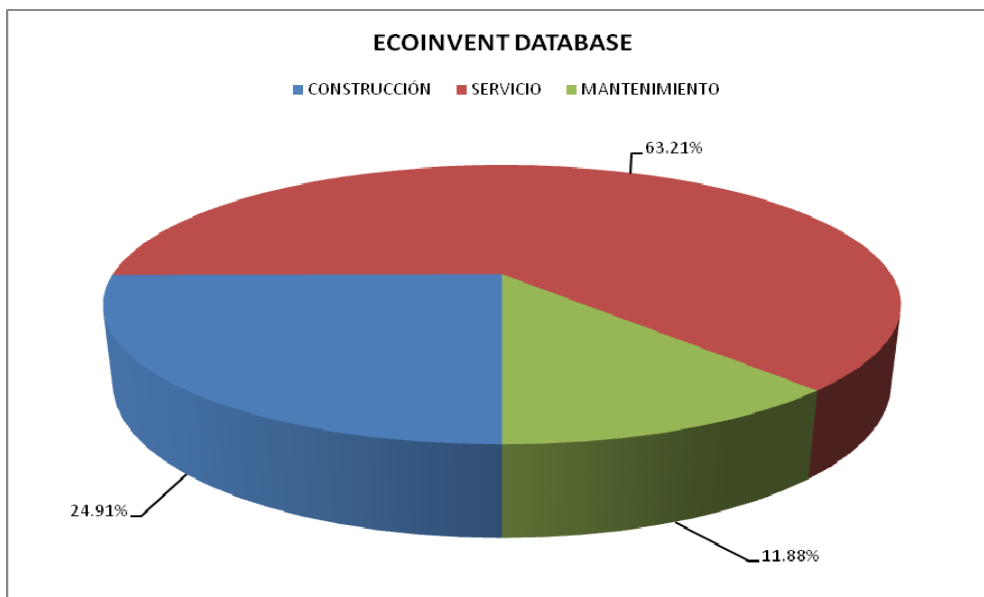


Figura 24.- Distribución relativa del consumo global de la vivienda de referencia. Supuestos de estudio A y B.



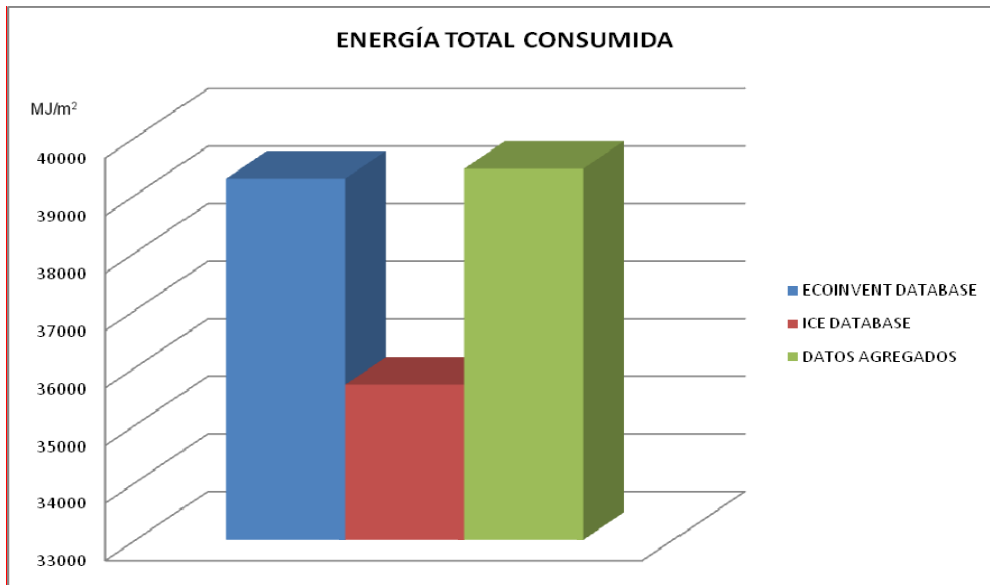


Figura 25.- Energía total consumida por la vivienda de referencia para cada uno de los casos de estudio desarrollados.

Interpretación, resumen y conclusiones

Comenzaremos el análisis de los resultados presentados en los apartados anteriores centrando nuestra atención en la Figura 20, ilustración que detalla el contenido energético resultante por unidad funcional para cada uno de los materiales considerados en el proyecto y para los supuestos de estudio A y B.

Como ya se ha mencionado, el valor obtenido para cada uno de los materiales considerados varía, sustancialmente, de un supuesto al otro. De esta forma, se puede concluir en la existencia de variabilidad, en los resultados obtenidos para cada uno de los materiales constitutivos del edificio, asociada al origen de la fuente seleccionada para el dato de energía embebida de los mismos.

Destaca, a este respecto, la inexistencia de tendencias o patrones observables en las variaciones detectadas entre ambos casos. Efectivamente, los resultados obtenidos en la Opción A no son siempre superiores o inferiores a los determinados en la Opción B, observándose una distribución aleatoria en función del material del que se trate.

La Tabla 3 pretende analizar la sensibilidad de los resultados de energía contenida en los distintos materiales asociada a la procedencia del dato de partida. La existencia de un 75% de materiales que presentan diferenciales superiores al 20%, y la de un 55% con variaciones superiores al 50% confirma así la relevancia de esta selección.

Los materiales que presentan una mayor tasa de variación en función de cada caso de estudio son: el acero estructural, los diferentes hormigones armados, la pintura plástica y las puertas correderas de vidrio (Anexo H).

Para determinar qué tipologías de material requieren de un mayor consumo de energía en el proceso de construcción del edificio y cuáles de ellas presentan una mayor variabilidad, resulta recomendable clasificar y agrupar los materiales según sus características físico-químicas. Una vez clasificados se, ha determinando el valor de energía contenida por unidad funcional para cada una de ellas como adición de los resultados obtenidos para los materiales que las componen (Figura 26).

Se comprueba así como los elementos estructurales (hormigones y aceros) y cerámicos son, a un tiempo, los que presentan mayores tasas de variación entre los dos casos de estudio considerados, y los que suponen un mayor consumo de energía en el proceso de construcción.

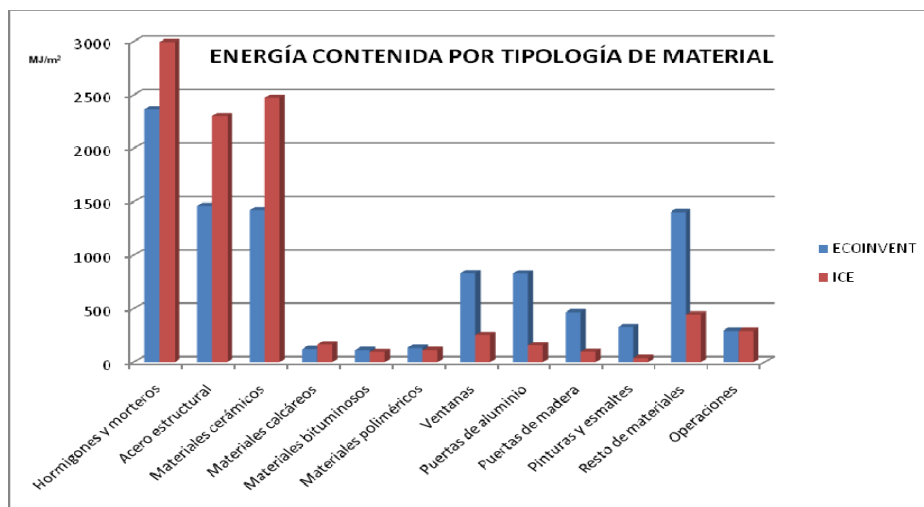


Figura 26.- Energía contenida para diferentes agrupaciones de materiales.

Por otra parte, la Tabla 4 presenta los valores resultantes de la energía embebida, por unidad funcional para cada uno de los supuestos de estudio desarrollados: 9784,23 MJ/m² para el caso A, 9449,95 MJ/m² para el caso B, y para el caso C 9874,71 MJ/m²). Resulta destacable el hecho de que finalmente, las variaciones observadas entre los resultados de los casos A y B son inferiores al 5%, o lo que es lo mismo, pueden ser despreciadas.

En primera aproximación, podría considerarse que este resultado es incoherente con lo analizado hasta el momento. Efectivamente, la existencia de variaciones significativas al analizar de forma individual cada uno de los materiales que intervienen en la construcción, induce a esperar que los resultados globales de la fase de construcción mantengan este patrón. Sin embargo, y paradójicamente, se produce una compensación entre las variaciones, de forma que no existen variaciones relevantes en el resultado global.

Se concluye entonces que, si bien la incertidumbre asociada al resultado obtenido para cada uno de los materiales constitutivos del edificio es elevada e impredecible, la incertidumbre asociada al proceso global de construcción puede ser despreciada.

En esta situación, y dado que el supuesto C es el que mayor información contiene de los tres desarrollados, se concluye que el contenido energético del edificio de referencia en su fase de construcción es el determinado para dicho caso, esto es **9.874,71 MJ/m²**.

Finalmente, y para concluir con el análisis de los resultados presentados en referencia a la fase de construcción del edificio, conviene analizar los datos presentados en la Figura 17, la Figura 21 y la Figura 22. Estos gráficos presentan, la cuota porcentual que, sobre el consumo energético global de la fase de construcción, suponen los diferentes “*capítulos de medición*” o fases constructivas. Se observa, para los tres casos desarrollados, cómo la fase de cimentación y estructura es, sin ningún tipo de dudas y a pesar de las variaciones observadas entre casos, la que mayor consumo energético conlleva (entre un 30 y un 50% de la energía de construcción, según el supuesto de estudio), seguida por las fases de albañilería (entre un 17 y un 30%) y carpintería metálica (17 y 5 % respectivamente).

Estos resultados están en clara consonancia con los presentados en la Figura 26 para las agrupaciones de materiales por características físico-químicas, figura en la que se podía observar como aquellos elementos que aparecen fundamentalmente en las partidas de cimentación (hormigones y morteros), albañilería (materiales cerámicos) y carpintería (puertas y ventanas de aluminio) eran los que presentaban mayor contenido energético por unidad funcional, alcanzado, respectivamente, el 32%, 17% y 16% de la energía correspondiente a la fase de construcción.

El elevado consumo energético asociado a la partida de cimentación y estructuras puede fundamentarse en dos aspectos principales. Por un lado, este resultado es consecuencia directa del alto consumo de energía asociado a la fabricación de hormigones, morteros y acero, principales componentes de la partida referida, aspecto que queda evidenciado por los elevados valores de energía embebida definidos en ambas bases de datos para este tipo de elementos.

Por otra parte, es preciso considerar el contexto nacional. Destaca, a este respecto, el fuerte aumento de las prestaciones mínimas y características de seguridad exigidas a las estructuras de hormigón en los últimos 30 años, consecuencia del desarrollo normativo acaecido en este periodo. Asimismo, la existencia de grandes responsabilidades civiles y penales por parte de los técnicos proyectistas de estructuras, y el fuerte desarrollo económico sufrido por el país en la última década, ha



llevado a convertir en práctica habitual el sobredimensionamiento de este tipo de estructuras. Evidentemente, ambos aspectos originan un aumento en la cantidad de hormigón y acero presente en la estructura de los edificios construidos, que, subsidiariamente, conlleva un aumento en el contenido energético de los mismos.

En lo que a la fase de albañilería se refiere, principalmente compuesta por materiales cerámicos y poliméricos, conviene señalar el bajo nivel de aportación que a la misma suponen estos últimos (un 5% aproximadamente). Este dato resulta de especial relevancia dado que dichos materiales suelen aparecer en edificación en forma de espumas o láminas, siendo su principal función constructiva el aislamiento del edificio.

A este respecto, y si bien el estudio desarrollado realiza el cálculo de la energía consumida en cada una de las fases del ciclo de vida del edificio de forma independiente, conviene destacar la existencia de relaciones directas entre los consumos de todas ellas. El empleo de ciertos materiales, como los aislantes en cerramientos de fachada, permite incurrir en reducciones del consumo existente en la fase de operación, concretamente, y en tal supuesto, se intuye una reducción en las necesidades de climatización del edificio, lo que incurriría en una reducción del consumo de energía de servicio.

Resulta, entonces, posible que ligeros incrementos en la energía consumida por la fase de construcción dieran lugar a reducciones de mayor envergadura en la fase de operación, reduciendo así el consumo global a lo largo del ciclo de vida de la vivienda.

De la misma forma, la energía consumida como consecuencia de las operaciones de mantenimiento supuestas para el edificio puede ser reducida mediante el empleo de materiales que requieran un menor número de actuaciones a lo largo del ciclo de vida del mismo. Por ejemplo, la sustitución de la pintura en paredes y techos por papel de construcción, suponiendo un rendimiento medio de colocación para el mismo de 175 g/m^2 (dato de fabricante), daría lugar a una reducción de más del 50% tanto en la energía de construcción como en la correspondiente a los trabajos de mantenimiento previstos para la pintura (repintado de todas las paredes y techos hasta en nueve ocasiones durante la vida útil del edificio). Además, este parámetro podría reducirse incluso más si se considera que las necesidades de mantenimiento del papel de pared son, aproximadamente, un 75% de las de la pintura, con lo que las actuaciones a realizar pasarían de las nueve previstas a sólo 6.

Concluiremos este análisis refiriéndonos a la Figura 19 y la Figura 24. Como era de esperar, según los resultados publicados en todos los estudios análogos al presente, el mayor consumo de energía asociado al ciclo de vida del edificio corresponde a la fase de operación del mismo (aproximadamente un 75% del total), siendo especialmente relevante el consumo asociado a la energía de servicio, aproximadamente un 84% del consumo de la fase de operación.

De cara a la reducción del consumo energético global del sector de la construcción, y buscando alcanzar los objetivos planteados por la Directiva Europea 2010/31/UE, esto es, la construcción de edificios de consumo casi nulo para el año 2020, las principales medidas correctoras a acometer en el sector deberán orientarse hacia la reducción del consumo asociado la fase de operación del edificio.

No obstante, y dado que la reducción de dicho consumo energético hasta un valor nulo resulta a todas luces inviable, será, para alcanzar el citado objetivo, necesario continuar reduciendo el consumo de la fase de construcción mediante el empleo de nuevos materiales o técnicas de fabricación que reduzcan, en la medida de lo posible, el contenido energético de los elementos constructivos.



Validación de resultados

Tras la presentación de los principales resultados obtenidos del análisis de ciclo de vida desarrollado, el presente apartado pretende determinar el grado de fiabilidad de los mismos mediante su comparación con diferentes publicaciones existentes en la literatura científica a este respecto.

Ahora bien, dado que este tipo de estudios se encuentran fuertemente influenciados por las condiciones de partida definidas para los mismos (ubicación geográfica, tipo de edificación, alcance del análisis, etc.), no es objeto de este proceso el verificar si los resultados obtenidos se ajustan con exactitud a los expuestos en los estudios considerados de referencia. Al contrario, y partiendo de la base de la inevitable existencia de variaciones, se pretende comprobar si los resultados obtenidos son robustos y coherentes al compararlos con los estudios de referencia, analizando posteriormente las posibles causas que derivan en la existencia de las citadas variaciones.

La tabla Tabla 6 presenta el conjunto de casos seleccionados, entre los muchos existentes en la literatura científica, como estudios de referencia, señalando, para cada uno de los mismos, el país en el que se ubica la vivienda de referencia y los distintos resultados presentados en el artículo correspondiente. Como puede comprobarse, una misma publicación presenta, en ciertos casos, los resultados correspondientes a varios casos de estudio, casos que se diferencian por sus condiciones de partida.

Por su parte, la Tabla 7 detalla las principales características y resultados obtenidos, con distinción de los datos de energía consumida en las etapas de construcción y operación, en cada uno de los casos de estudio considerados. Destacar que se ha incluido en dicha tabla los resultados correspondientes al estudio expuesto en este proyecto, una vez homogeneizadas las unidades de los mismos.

En último lugar, y con objeto de facilitar el proceso comparativo a realizar, la Figura 27 presenta gráficamente los resultados de los diferentes casos de estudio considerados, incluidos los correspondientes a este proyecto.

REFERENCIA	CASO DE ESTUDIO	PAÍS DE ESTUDIO	ENERGÍA EMBEBIDA	ENERGÍA DE CICLO DE VIDA	LCA
Adalberth (14)	1 - 13	Suecia		x	
Adalberth (5)	14 - 16	Suecia		x	
Adalberth et al. (28)	17 - 20	Suecia		x	x
Asif et al. (1)		Escocia	x		
Winther and Hestnes (16)	21 - 25	Noruega		x	
Citherlet and Defaux (15)	26 - 28	Suiza		x	
Zimmermann et al (24)	29 - 30	Suiza		x	
Shukla et al. (22)	31	India		x	
Mithraratne and Vale (13)	32 - 34	Nueva Zelanda		x	x
Treloar et al. (7)	35	Australia		x	
Fay et al. (8)	36 - 37	Australia		x	
Thormark (17)	38	Suecia		x	
Utama and Gheewala (9)	39 - 40	Indonesia		x	
Sartori and Hestnes	41 - 46	Alemania		x	

Tabla 6.- Listado de estudios de referencia considerados.



Nº estudio	Superficie (m ²)	Vida útil (años)	Material estructural	E. Embebida (kWh/m ² año)	E. Operación (kWh/m ² año)	E. Total (kWh/m ² año)
1	1190	50	MADERA	32	330	350
2	1190	50	MADERA	33	323	344
3	1190	50	MADERA	33	314	335
4	1190	50	MADERA	33	323	344
5	1190	50	MADERA	34	299	320
6	1190	50	MADERA	33	296	318
7	1190	50	MADERA	33	323	344
8	1190	50	MADERA	33	274	295
9	700	50	HORMIGÓN	25	234	257
10	1160	50	HORMIGÓN	26	251	276
11	1190	50	MADERA	33	322	343
12	1520	50	SCC	24	265	288
13	1190	50	HORMIGÓN	30	320	344
14	130	50	MADERA	28	260	288
15	129	50	MADERA	27	273	301
16	138	50	MADERA	23	243	268
17	700	50	HORMIGÓN	27	234	261
18	1160	50	HORMIGÓN	24	251	276
19	1190	50	MADERA	35	322	357
20	1520	50	SCC	22	265	288
21	110	50	MADERA	14	151	165
22	110	50	MADERA	13	119	132
23	110	50	MADERA	12	133	145
24	110	50	MADERA	9	169	178
25	110	50	MADERA	25	65	90
26	266	50	MADERA	27	188	215
27	266	50	MADERA	31	151	182
28	266	50	MADERA	25	86	111
29		50	MADERA	20	311	331
30		50	MADERA	28	309	337
31	100	40	ADOBE	37	24	61
32	94	100	MADERA	12	23	47
33	94	100	HORMIGÓN	13	21	45
34	94	100	MADERA	14	12	33
35	123	30	LADRILLO	143	233	376
36	128	100	LADRILLO	101	267	368
37	128	100	LADRILLO	98	292	390
38	120	50	MADERA	39	120	144
39	50	40	ARCILLA	13	84	97
40	50	80	CEMENTO	7	95	102
41	156	80	MADERA	19	259	278



Nº estudio	Superficie (m ²)	Vida útil (años)	Material estructural	E. Embebida (kWh/m ² año)	E. Operación (kWh/m ² año)	E. Total (kWh/m ² año)
42	156	80	MADERA	20	202	222
43	156	80	MADERA	20	148	168
44	156	80	MADERA	29	64	93
45	156	80	MADERA	107	0	107
46	156	80	MADERA	22	49	71
47	92.74	50	HORMIGÓN	54.84	164.322	219.162

Tabla 7.- Detalle y resultados de los casos de estudio considerados.

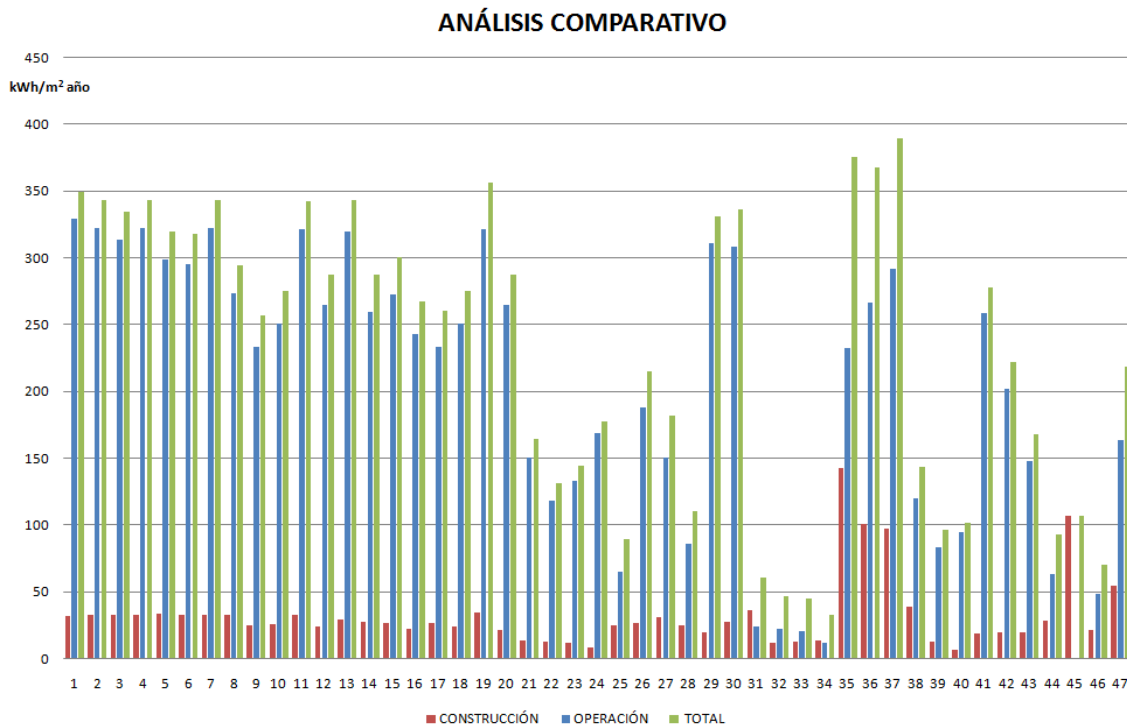


Figura 27.- Datos de consumo energético correspondientes a los diferentes casos de referencia incluido el presente proyecto (caso 47).

Como era de esperar, se observan grandes variaciones en los datos de energía consumida, tanto en la fase de construcción como en la de operación, de los diferentes casos analizados.

En primer lugar, conviene destacar las diferencias observadas en la ubicación geográfica de las viviendas de referencia. Esta circunstancia deriva, inexorablemente, en la existencia de desviaciones en la energía de operación consumida por las diferentes viviendas, no sólo por las diferencias climatológicas existentes entre las distintas ubicaciones, sino como consecuencia de acusadas variaciones en el nivel de desarrollo, y por tanto de exigencias térmicas y equipamiento interior, de los países en cuestión.

Por otra parte, la normalización observada en los resultados presentados, que vienen expresados en términos de la unidad funcional del proyecto en cuestión (m² de superficie construida), impide justificar las variaciones observadas en los mismos

como consecuencia de las diferencias existentes en la superficie definida para la vivienda de cada caso de estudio.

No obstante, se intuye, a partir de los citados datos de superficie construida para las diferentes viviendas, la existencia de diferencias en la tipología de las edificaciones analizadas, pudiendo así existir estudios referidos a viviendas unifamiliares aisladas (corresponderían con aquellos casos de mayor superficie construida) y otros, como el presente, correspondientes a viviendas contenidas en edificios. Evidentemente, estas diferencias tipológicas pueden generar importantes diferencias en los patrones de consumo de energía.

Si bien la energía correspondiente a la fase de operación de la vivienda es directamente proporcional a la vida útil de la misma, en el caso de la energía de construcción esta relación no se cumple; siendo este concepto exclusivamente dependiente de las características constructivas del edificio.

De esta forma, las diferencias observadas en la energía correspondiente a la fase de operación (expresada en términos de $kWh/m^2año$) de los distintos casos de estudio considerados (Figura 27) podrían estar asociadas a las variaciones observables en el valor definido para la vida útil de la vivienda de cada uno de ellos (Tabla 7). Efectivamente, si se considera, por ejemplo, el caso de estudio 35, en el que la vida útil definida para la vivienda es de 30 años, se puede observar como la energía de construcción obtenida, en el supuesto de una vida útil de 60 años, sería aproximadamente la mitad de la especificada.

Dado que las diferentes consideraciones realizadas hasta el momento no permiten justificar por completo las desviaciones observadas en los resultados presentados, parece razonable intuir que el origen de dicha variabilidad podría fundamentarse en las diferencias existentes en el material constitutivo de la estructura de cada una de las viviendas. Téngase en cuenta, a este respecto, que este parámetro condiciona, habitualmente, las características constructivas de la vivienda en su conjunto (tipo de cerramientos exteriores, tipo de revestimientos, etc.), lo que deriva en la existencia de variaciones, no solo en el consumo energético correspondiente a la fase de construcción, sino también en los correspondientes a la fase de operación.

Con objeto de verificar estas suposiciones, la Figura 28 presenta la comparación de los casos de estudio en los que el material estructural es hormigón, como el del caso desarrollado en este proyecto.

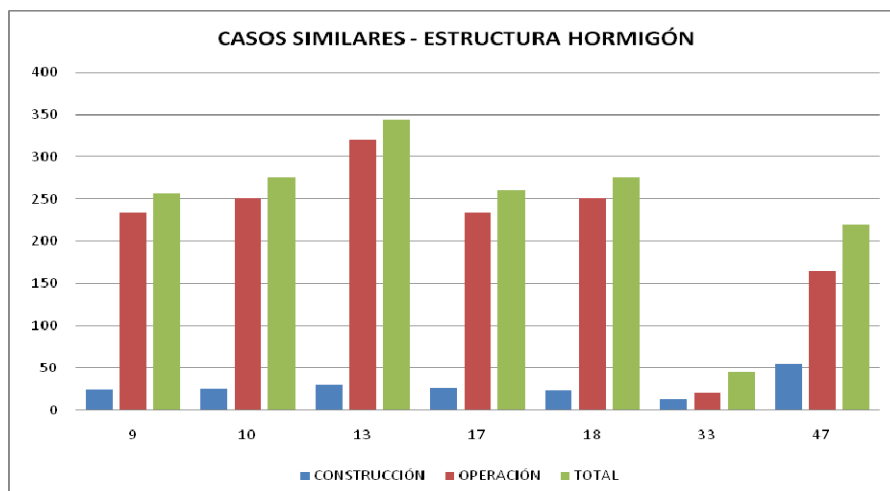


Figura 28.- Comparación de resultados obtenidos en los casos con estructura de hormigón.



Se aprecia cómo los valores de energía consumida en la fase de construcción para los casos 9, 10, 13, 17 y 18 resultan ser del mismo orden de magnitud, observándose un valor significativamente menor para el caso de estudio 33. Esta variación podría deberse a la vida útil supuesta para la vivienda, al verificarse que el citado caso 33 considera un valor de 100 años, que duplica el definido para el resto de casos, 50 años.

El valor obtenido para la energía de construcción en el presente estudio (caso 47), supera, ampliamente, el valor medio del resto de casos. Esta importante variación puede deberse a las diferencias constructivas que pueden intuirse como consecuencia de la diferente superficie de la vivienda de referencia (1200 m² de media frente a 94 m² del caso 47). Evidentemente, para una vivienda unifamiliar el contenido de hormigón armado de la estructura, principal consumidor de energía del edificio en su construcción, es sensiblemente inferior del necesario para la ejecución de un edificio de viviendas.

Adicionalmente, en el caso del edificio de viviendas, la unidad funcional incluye en su definición la parte proporcional de consumo energético asociado a la construcción de zonas comunes del edificio (escaleras, garajes, etc.) y locales comerciales, lo que redundará, inevitablemente, en un aumento del consumo de energía respecto a edificaciones aisladas.

En último lugar, y refiriéndonos a la energía de la fase de operación, se comprueba que los valores obtenidos en los diferentes casos de estudio presentan una cierta homogeneidad, a excepción del caso 33 en el que el consumo de esta fase resulta excesivamente bajo, lo que nos lleva a pensar que se haya despreciado algún consumo habitualmente existente en dicha fase.

En el caso desarrollado en este proyecto, al contrario que en la fase de construcción, el consumo correspondiente a la de operación resulta ser sensiblemente inferior a la media, aproximadamente un 25%. Ello puede justificarse en base a la diferente localización geográfica de las viviendas. Los casos 9, 10, 13, 17 y 18 se ubican en Suecia, país cuya climatología, especialmente en la estación invernal, resulta sensiblemente más agresiva que la española, y, especialmente, que la murciana. La mayor demanda de calefacción de estas viviendas puede justificar la variación detectada.

De esta forma, es posible concluir que los resultados obtenidos para el caso desarrollado en este proyecto, teniendo en consideración sus particularidades y condicionantes de partida, están en consonancia con aquellos publicados en la literatura científica de referencia, especialmente con aquellos en los que la estructura de la vivienda está compuesta por hormigón y acero.



Futuras líneas de investigación

El presente proyecto pretende evaluar el consumo energético en el sector de la construcción español. Para ello, y no sin antes revisar distintos aspectos económicos, sociales y normativos que afectan al mismo, se decide recurrir al empleo de técnicas cuantitativas de reconocido prestigio internacional para el cálculo del consumo energético asociado a una vivienda de la ciudad de Murcia.

En concreto, la técnica escogida es la del Análisis de Ciclo de Vida, metodología que permite determinar el consumo de energía global de la vivienda al considerar todas las fases que componen su ciclo de vida, esto es, desde la extracción de las materias primas que la conforman, hasta su demolición y traslado de los residuos generados a un vertedero o una planta de reciclado.

Siguiendo las especificaciones de la norma UNE EN ISO 14.040, se ha analizado el ciclo de vida de la vivienda seleccionada para este proyecto, y se ha detectado la existencia de limitaciones en el alcance del proyecto. En este sentido, se proponen a continuación ciertas líneas básicas de investigación que permitirían ampliar el alcance del estudio desarrollado y, por consiguiente, las conclusiones extraídas del mismo.

En primer lugar, se propone la realización detallada, mediante simulación vía software, del consumo energético de la fase de operación del edificio. De esta forma, al establecer la relación existente entre las características constructivas del edificio y su consumo en la fase de operación, relación que ha sido despreciada en este proyecto al realizar el cálculo de la citada fase en base a un coeficiente medio de consumo, resultará posible conocer los incrementos o ahorros de energía consumida por el edificio en la fase de operación como consecuencia de un cambio en las características constructivas o arquitectónicas del edificio, por ejemplo, tras el aumento en el espesor del aislante existente en los cerramientos exteriores, o de la orientación del mismo.

En segundo lugar, se podría incorporar al estudio realizado el consumo energético correspondiente a la ejecución de los diferentes sistemas e instalaciones existentes en el edificio, tales como la instalación eléctrica o de climatización, así como los electrodomésticos habitualmente existentes en una vivienda de estas características. Si bien el impacto que sobre los resultados tendría esta modificación es escaso, simplemente modificaría la energía de construcción puesto que el consumo de estos elementos sí está incluido en el coeficiente de consumo medio de los hogares españoles, la consideración de estos elementos aumentaría la exactitud de los resultados obtenidos.

Se puede proponer, asimismo, analizar con detalle el dimensionamiento de la estructura y cimentación del edificio, de cara a establecer con certeza la existencia o no de cantidades excesivas de hormigón y acero, así como evaluar la relación existente entre el aumento de prestaciones obtenido como consecuencia del citado sobredimensionamiento y el consumo energético global del edificio.

Directamente relacionado con lo anterior, parece interesante realizar un nuevo análisis de ciclo de vida sobre el mismo edificio, introduciendo modificaciones de importancia en el material que compone su estructura, por ejemplo, suponiendo una estructura metálica, de cara a evaluar las reducciones en el consumo global del edificio.

Sería también interesante la incorporación al edificio de sistemas de producción de energía localizados en el mismo y basados en tecnologías renovables que permitan compensar, total o parcialmente, el consumo energético del edificio. Evidentemente, el LCA a desarrollar en este caso debería incorporar, a los valores ya obtenidos en este



proyecto, el consumo de energía necesario para la fabricación y colocación de estos elementos en el edificio de referencia, el consumo de energía necesario para su operación y, finalmente, la producción de energía del mismo, valor que compensará, parcialmente, la energía de operación global del edificio.

En último lugar, se podrían incluir en el estudio indicadores medioambientales que den cuenta de los impactos que este proceso causa sobre diferentes ecosistemas, de forma que los resultados obtenidos no se limiten a los valores de energía consumida, sino que permitan extraer información referente al potencial de acidificación de la atmósfera, potencial de calentamiento global, etc.



Anexos

Anexo informativo. Nomenclatura y definiciones.

Se detallan a continuación las principales abreviaturas y notaciones empleadas en los anexos presentados.

- “*Unidad de medición*”. Expresa la unidad empleada en el Proyecto de ejecución del edificio para el material en cuestión.
- “*Total*”. Especifica la cantidad de material en términos de la unidad funcional del LCA y de la unidad de medición de proyecto.
- “ $UF_{ECOINVENT}/ UF_{ICE}/ UF_{BD}$ ”, Especifica la unidad funcional considerada, para el material en cuestión, en la base de datos seleccionada.
- “*Factor de conversión*”. Coeficiente de transformación entre “Unidad de Medición” y “ UF_i ”.
- “*Total*”. Especifica la cantidad de material en términos de la unidad funcional del LCA y de la unidad funcional de la base de datos seleccionada.
- “*Energía embebida*”. Especifica el contenido energético, por unidad funcional de la base de datos seleccionada, para el material en cuestión.
- “*Energía embebida*”. Especifica el contenido energético, por unidad funcional del análisis LCA desarrollado, para el material en cuestión.



Anexo A. Inventario de Ciclo de Vida. Caso de estudio A.

MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Grava caliza 40/80 mm	m ³	0.075873244	kg	1500	113.8098661	0.035763241	4.070209723
Hormigón en masa HM-20/B/20/I	m ³	0.037936622	m ³	1	0.037936622	1448.918945	54.96709039
Hormigón armado HA-30/F/20/IIa + QbSR/MR	m ³	0.23689821	m ³	1	0.23689821	1782.250074	422.2118519
Acero B 500 s	m ³	0.007564359	kg	7850	59.38022148	23.11225121	1372.410596
Hormigón armado HA-30/B/20/IIa + QbSR/MR	m ³	0.289009022	m ³	1	0.289009022	1782.250074	515.0863506
Hormigón armado HA-25/B/20/I	m ³	0.370621432	m ³	1	0.370621432	1448.918945	537.0004145
Hormigón armado HA-25/B/12/I	m ³	0.002820719	m ³	1	0.002820719	1448.918945	4.086992694
Acero B 500 T	m ³	0.000503924	kg	7850	3.955805386	23.11225121	91.4275678
Bloque de hormigón (Aligeramiento de forjados)	Ud	7.97140026	kg	21.6	172.1822456	0.830792724	143.0477569
Panel fenólico	m ²	0.034972508					
Ladrillo caravista, cerámico, prensado hidrofugado. Dimensiones 24 x 12 x 5	Ud	51.93834735	kg	1.55	80.5044384	5.486136311	441.6583227
Ladrillo cerámico, hueco doble: 24 x 11,5 x 7 cm	Ud	64.28960345	kg	2.09	134.3652712	2.829028489	380.1231802
Ladrillo cerámico, hueco doble: 24 x 11,5 x 9 cm	Ud	18.68371253	kg	2	37.36742505	2.829028489	105.71351
Ladrillo cerámico, perforado para revestir: 24 x 12 x 9 cm	Ud	33.05252676	kg	2	66.10505353	2.829028489	187.0130797
Pieza cerámica para conducto de ventilación: 35 x 25 x 25 cm	Ud	2.646885387	kg	9.4	24.88072264	2.829028489	70.38827319
Bloque cerámico acústico 250 x 150 x 90	Ud	14.26694748	kg	3.8	54.21440044	2.829028489	153.3740834
Mortero de cemento M-40 (1:6)	m ³	0.124263493	kg	1800	223.6742876	1.52993471	342.2070564
Mortero de cemento M-80 (1:4)	m ³	0.007170244	kg	1800	12.9064396	1.52993471	19.74600993
Mortero de cemento hidrófugo M-60 (1:4)	m ³	0.022117885	kg	1800	39.81219219	1.52993471	60.91005472



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Espuma de poliuretano. Densidad 30 kg/m ³ .	m ³	0.038939012	kg	30	1.168170355	103.0718616	120.4054931
Hormigón polímero	m ³	0.0020034					
Lámina oxiasfáltica no protegida: LO-40-FP. (Peso 4 kg/m ²)	m ²	0.37936622	kg	4	1.517464882	7.050106544	10.69828909
Lámina de betún modificado. LBM (SBS)-40-FP. (Peso 4 kg/m ²)	m ²	0.220221881	kg	4	0.880887525	52.04234739	45.84345456
Lámina de betún modificado. LBM (APP)-48-FP. (Peso 4,8 kg/m ²)	m ²	0.23223688	kg	4.8	1.114737026	52.04234739	58.01353156
Lámina geotextil de poliéster.150 g/m ² .	m ²	0.37936622					
Lámina geotextil de poliéster.200 g/m ² .	m ²	0.209889448					
Lámina geotextil de polpropileno - polietileno.125 g/m ² .	m ²	0.23223688					
Lámina geotextil de polpropileno - polietileno.200g/m ² .	m ²	0.010332433					
Emulsión asfáltica ED. Densidad 1050 kg/m ³	m ³	0.000420833					
Hormigón celular. Cemento espumado CEM II/A-P 32,5 R, agua y aditivo aireante	m ³	0.024256931	kg	5000	121.2846568	3.449093409	418.3221103
Mortero de juntas J1. M-5	m ³	0.000371579	kg	1500	0.557368513	4.311282093	2.40297289
Baldosa cerámica de gres esmaltado antideslizante. 20 x 20 cm	Ud	5.805922011	kg	1.15	6.676810313	14.82479257	98.98232791
Panel de poliestireno extruido tipo IV. Espesor 30 mm	m ²	0.147242029	kg	1.05	0.154604131	100.6310796	15.55798058
Grava de canto rodado 16/32 mm	m ³	0.022022188	kg	1500	33.03328217	0.057918265	1.9132304
Malla de gallinero para armadura de mortero base de baldosa cerámica. Alambre de acero galvanizado	m ²	0.23223688					
Hormigón armado HA-25/B/12/IIa	m ³	0.072388053	m ³	1	0.072388053	1638.091936	118.5782854
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.018236608	kg	1500	27.35491267	0.057918265	1.584349089
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000413624					
Baldosa de marmol nacional. Dimensiones 60 x 60 cm	Ud	1.966199222					
Baldosa de gres esmaltado porcelánico. Dimensiones 30 x 30 cm	Ud	2.159507587	kg	2.6	5.614719726	14.82479257	83.23705528



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Pintura tipo slurry	kg	0.017427966					
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.013085722	kg	1800	23.5542987	1.52993471	36.03653916
Mortero monocapa. Acabado raspado fino	m ³	0.010239076	kg	1800	18.43033671	1.52993471	28.19721185
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.042722882	kg	1000	42.72288173	1.752546063	74.87381816
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.021361441	kg	1000	21.36144087	1.752546063	37.43690908
Mortero cola convencional. A1	m ³	0.002052474	kg	1700	3.489206318	24.46630134	85.36797322
Baldosa cerámica de azulejo. 30 x 15 cm	Ud	22.14825022	kg	0.167	3.698757787	14.82479257	54.83331696
Barra de madera de pino. 5 x 5 cm	m	0.51920185	m ³	0.0025	0.001298005	16230.28961	21.06699096
Tablero aglomerado. Espesor 19 cm	m ²	0.20768618	m ³	0.19	0.039460374	20490.40857	808.5591897
Lamichapa de cedro	m ²	0.20768618					
Barniz	l	0.020768618	kg	0.9	0.018691756	46.28406418	0.865130444
Falso techo continuo de placas de escayola	m ²	0.183244283	kg	11.5	2.107309254	1.752546063	3.693156536
Falso techo desmontable de placas de escayola.	m ²	0.047725816	kg	9	0.42953234	1.752546063	0.752775211
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,4 x 1,6 - Tipo V1 - Persiana SI	Ud	0.019040588	m ²	2.24	0.042650916	8745.843174	373.0182233
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,6 x 0,5 - Tipo V2 - Persiana NO	Ud	0.000388583	m ²	0.8	0.000310867	8745.843174	2.718791715
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,3 x 1,6 - Tipo V3 - Persiana SI	Ud	0.003497251	m ²	2.08	0.007274282	8745.843174	63.61972613
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,1 x 1,6 - Tipo V4 - Persiana SI	Ud	0.003108667	m ²	1.76	0.005471255	8745.843174	47.85073419
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,8 diámetro - Tipo V5 - Persiana NO	Ud	0.003108667	m ²	0.502654825	0.001562587	8745.843174	13.66613773
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,7 x 1,0 - Tipo V6 - Persiana NO	Ud	0.003497251	m ²	0.7	0.002448076	8745.843174	21.41048476
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 2,2 x 2,2 - Tipo V7 - Persiana SI	Ud	0.006217335	m ²	4.84	0.0300919	8745.843174	263.179038



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,2 x 0,5 - Tipo V8 - Persiana NO	Ud	0.003885834	m ²	0.6	0.002331501	8745.843174	20.39093786
Ventana corredera de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,5 x 0,5 - Tipo V9 - Persiana NO	Ud	0.000388583	m ²	0.75	0.000291438	8745.843174	2.548867233
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,7 x 1,1 - Tipo V10 - Persiana NO	Ud	0.003497251	m ²	0.77	0.002692883	8745.843174	23.55153323
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 2,2 x 2,2 - Tipo PB1 - Persiana SI	Ud	0.004663001	m ²	4.84	0.022568925	8745.843174	197.3842785
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,9 x 2,2 - Tipo PB2 - Persiana SI	Ud	0.003497251	m ²	4.18	0.014618508	8745.843174	127.8511804
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,5 x 2,2 - Tipo PB3 - Persiana SI	Ud	0.012823253	m ²	3.3	0.042316734	8745.843174	370.0955222
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 0,75 x 2,2 - Tipo PB4 - Persiana SI	Ud	0.003108667	m ²	1.65	0.005129301	8745.843174	44.8600633
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,2 x 2,2 - Tipo PB5 - Persiana SI	Ud	0.003108667	m ²	2.64	0.008206882	8745.843174	71.77610128
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,5 x 2,2 - Tipo PB7 - Persiana SI	Ud	0.000388583	m ²	3.3	0.001282325	8745.843174	11.21501582
Puerta de vidrio, perfilería de acero inoxidable. Vidrio de seguridad 6 + 6 mm	Ud	0.000388583	m ²	2.42	0.000940372	7160.253804	6.73330129
Puerta metálica de chapa de acero galvanizado de 1mm de espesor y marco de acero galvanizado. Dimensiones 82 x 210	Ud	0.01360042					
Puerta resistente al fuego RF-60. Dos chapas de acero galvanizado de 1mm con aislante interior, marco de acero galvanizado. Dimensiones 82 x 210	Ud	0.006217335					
Puerta de garaje. Lamas de aluminio relleno de poliuretano. Marco de acero laminado en frío. Dimensiones 300 x 260	Ud	0.000388583					
Barandilla formada por perfil hueco de acero laminado (sup e inf) y montantes de mismo material separadas cada metro. Vidrio 4 + 4. Altura 110 cm	m	0.078330646					
Barandilla formada por perfil hueco de acero laminado (sup e inf) y montantes de mismo material separadas cada metro. Relleno entrepaños - Barrote perfil hueco de acero laminado. Altura 100 cm	m	0.014369815					
Puerta blindada: Tablero de aglomerado + dos chapas de acero galv 0,8 mm + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 82,5 x 4,5	Ud	0.013211836	m ²	1.67475	0.022126523	1894.180119	41.91161951
Puerta de madera: Tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 72,5 - Tipo P1	Ud	0.05906468	m ²	1.47175	0.086928442	1803.847786	156.8056783



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Puerta de madera y vidrio: tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 72,5 - Tipo PV1	Ud	0.01360042	m ²	1.47175	0.020016418	1759.177683	35.21243522
Puerta de madera y vidrio: tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 82,5 - Tipo PV2	Ud	0.012434669	m ²	1.67475	0.020824963	1759.177683	36.63480945
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,6 x 2,4 - Tipo A1	Ud	0.003108667	m ²	3.84	0.011937283	1759.177683	20.99980121
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,5 x 2,4 - Tipo A2	Ud	0.006217335	m ²	3.6	0.022382405	1759.177683	39.37462726
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,2 x 2,4 - Tipo A3	Ud	0.006605918	m ²	2.88	0.019025044	1759.177683	33.46843317
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 0,9 x 2,4 - Tipo A4	Ud	0.006217335	m ²	2.16	0.013429443	1759.177683	23.62477636
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 2,4 x 2,4 - Tipo A5	Ud	0.000388583	m ²	5.76	0.00223824	1759.177683	3.937462726
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,2 x 2,4 - Tipo A6	Ud	0.000388583	m ²	2.88	0.00111912	1759.177683	1.968731363
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 3,75 x 2,4 - Tipo A7	Ud	0.000388583	m ²	9	0.003497251	1759.177683	6.15228551
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,3 x 2,4 - Tipo A8	Ud	0.012434669	m ²	3.12	0.038796169	1759.177683	68.24935392
Imprimación adherente y selladora previa a pintura plástica	l	0.291157784					
Imprimación anticorrosiva para barandillas	l	0.00885193					
Imprimación no grasa para madera	l	0.005550526					
Pintura plástica	m ²	3.785078397	kg	1.5	5.677617595	57.57752098	326.9031462
Pintura con acabado martelé para barandillas	l	0.011507898	kg	1	0.011507898	57.57752098	0.662596236
Laca nitrocelulósica	l	0.158584779					



PROCESO CONSTRUCTIVO	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Desbroce y limpieza de parcela	m ²	0.37936622					
Excavación del terreno para formación de sótanos	m ³	3.996553265	m ³	1	3.996553265	8.073372315	32.26566249
Transporte de residuos de excavación hasta vertedero	m ³	3.996553265	v-km	6.25	24.97845791	10.32685666	257.9489543
Vertido con grúa de hormigón	m ³	1.033930989			0		
Barrenado de tierras para ubicación de pilotes	m ³	0.23689821	m ³	1	0.23689821	8.073372315	1.912567448
Vibrado de hormigón	m ³	0.662451173	m ³	1	0.662451173	0.552	0.365673047
Proyectado de aislamiento en cara interior de cerramientos de fachada	m ³	0.038939012	kg	30	1.168170355	0.0552	0.064483004
Vertido con grua de mortero en pavimentos	m ³	0.027777583					
Fratasado mecánico de hormigón	m ²	0.681268336					
Rebajado pulido y abrillantado de mármol	m ²	0.713528532	m ²	1	0.713528532	0.297	0.211917974
Proyectado de yeso a buena vista	m ²	4.272288173	l	12.5	53.40360217	0.018	0.961264839
Proyectado de pintura plástica	m ²	3.785078397	l	0.833333333	3.154231997	0.018	0.056776176
Proyectado de pintura martelé	l	0.011507898	l	1	0.011507898	0.018	0.000207142
Aplicación con pistola de laca nitrocelulósica	l	0.158584779	l	1	0.158584779	0.018	0.002854526



Anexo B. Inventario de Ciclo de Vida. Caso de estudio B.

MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Grava caliza 40/80 mm	m ³	0.075873244	kg	1500	113.8098661	0.3	34.14295984
Hormigón en masa HM-20/B/20/I	m ³	0.037936622	kg	2300	87.2542307	0.77	67.18575764
Hormigón armado HA-30/F/20/IIa + QbSR/MR	m ³	0.23689821	kg	2300	544.8658825	1.11	604.8011296
Acero B 500 s	m ³	0.007564359	kg	7850	59.38022148	36.4	2161.440062
Hormigón armado HA-30/B/20/IIa + QbSR/MR	m ³	0.289009022	kg	2300	664.7207503	1.11	737.8400328
Hormigón armado HA-25/B/20/I	m ³	0.370621432	kg	2300	852.429294	1.11	946.1965163
Hormigón armado HA-25/B/12/I	m ³	0.002820719	kg	2300	6.487652901	1.11	7.20129472
Acero B 500 T	m ³	0.000503924	kg	7850	3.955805386	36.4	143.991316
Bloque de hormigón (Aligeramiento de forjados)	Ud	7.97140026	kg	21.6	172.1822456	0.7	120.5275719
Panel fenólico	m ²	0.034972508					
Ladrillo caravista, cerámico, prensado hidrofugado. Dimensiones 24 x 12 x 5	Ud	51.93834735	Ud	1	51.93834735	23	1194.581989
Ladrillo cerámico, hueco doble: 24 x 11,5 x 7 cm	Ud	64.28960345	Ud	1	64.28960345	8.4	540.032669
Ladrillo cerámico, hueco doble: 24 x 11,5 x 9 cm	Ud	18.68371253	Ud	1	18.68371253	8.4	156.9431852
Ladrillo cerámico, perforado para revestir: 24 x 12 x 9 cm	Ud	33.05252676	Ud	1	33.05252676	8.4	277.6412248
Pieza cerámica para conducto de ventilación: 35 x 25 x 25 cm	Ud	2.646885387	kg	9.4	24.88072264	3	74.64216792
Bloque cerámico acústico 250 x 150 x 90	Ud	14.26694748	kg	3.8	54.21440044	3	162.6432013
Mortero de cemento M-40 (1:6)	m ³	0.124263493	kg	1800	223.6742876	0.99	221.4375448
Mortero de cemento M-80 (1:4)	m ³	0.007170244	kg	1800	12.9064396	1.21	15.61679192
Mortero de cemento hidrófugo M-60 (1:4)	m ³	0.022117885	kg	1800	39.81219219	1.21	48.17275255



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Espuma de poliuretano. Densidad 30 kg/m ³	m ³	0.038939012	kg	30	1.168170355	72.1	84.22508259
Hormigón polímero	m ³	0.0020034					
Lámina oxiasfáltica no protegida: LO-40-FP. (Peso 4 kg/m ²)	m ²	0.37936622	kg	4	1.517464882	2.6	3.945408693
Lámina de betún modificado. LBM (SBS)-40-FP. (Peso 4 kg/m ²)	m ²	0.220221881	kg	4	0.880887525	47	41.40171365
Lámina de betún modificado. LBM (APP)-48-FP. (Peso 4,8 kg/m ²)	m ²	0.23223688	kg	4.8	1.114737026	47	52.39264023
Lámina geotextil de poliéster.150 g/m ² .	m ²	0.37936622	kg	0.15	0.056904933	106.5	6.060375372
Lámina geotextil de poliéster.200 g/m ² .	m ²	0.209889448	kg	0.2	0.04197789	106.5	4.470645243
Lámina geotextil de polpropileno - polietileno.125 g/m ² .	m ²	0.23223688	kg	0.125	0.02902961	95.4	2.769424799
Lámina geotextil de polpropileno - polietileno.200g/m ² .	m ²	0.010332433	kg	0.2	0.002066487	95.4	0.197142824
Emulsión asfáltica ED. Densidad 1050 kg/m ³	m ³	0.000420833					
Hormigón celular. Cemento espumado CEM II/A-P 32,5 R, agua y aditivo aireante	m ³	0.024256931					
Mortero de juntas J1. M-5	m ³	0.000371579	kg	1500	0.557368513	1.2	0.668842216
Baldosa cerámica de gres esmaltado antideslizante. 20 x 20 cm	Ud	5.805922011	kg	1.15	6.676810313	9	60.09129282
Panel de poliestireno extruido tipo IV. Espesor 30 mm	m ²	0.147242029	kg	1.05	0.154604131	109.2	16.88277107
Grava de canto rodado 16/32 mm	m ³	0.022022188	kg	1500	33.03328217	0.3	9.909984651
Malla de gallinero para armadura de mortero base de baldosa cerámica. Alambre de acero galvanizado	m ²	0.23223688					
Hormigón armado HA-25/B/12/Ila	m ³	0.072388053	kg	2300	166.4925212	1.11	184.8066985
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.018236608	kg	1500	27.35491267	0.1	2.735491267
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000413624	kg	1800	0.744523422	4.6	3.424807741
Baldosa de marmol nacional. Dimensiones 60 x 60 cm	Ud	1.966199222	kg	4.727272727	9.294759959	3.33	30.95155066
Baldosa de gres esmaltado porcelánico. Dimensiones 30 x 30 cm	Ud	2.159507587	kg	2.6	5.614719726	9	50.53247754



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Pintura tipo slurry	kg	0.017427966					
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.013085722	kg	1800	23.5542987	1.4	32.97601819
Mortero monocapa. Acabado raspado fino	m ³	0.010239076	kg	1800	18.43033671	1.2	22.11640405
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.042722882	kg	1000	42.72288173	1.8	76.90118712
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.021361441	kg	1000	21.36144087	1.8	38.45059356
Mortero cola convencional. A1	m ³	0.002052474	kg	1700	3.489206318	1.2	4.187047582
Baldosa cerámica de azulejo. 30 x 15 cm	Ud	22.14825022	kg	0.167	3.698757787	9	33.28882009
Barra de madera de pino. 5 x 5 cm	m	0.51920185					
Tablero aglomerado. Espesor 19 cm	m ²	0.20768618	kg	142.5	29.59528065	9.5	281.1551662
Lamichapa de cedro	m ²	0.20768618	kg	7	1.45380326	9.5	13.81113097
Barniz	l	0.020768618	kg	0.9	0.018691756	50	0.93458781
Falso techo continuo de placas de escayola	m ²	0.183244283	kg	11.5	2.107309254	1.8	3.793156657
Falso techo desmontable de placas de escayola.	m ²	0.047725816	kg	9	0.42953234	1.8	0.773158212
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,4 x 1,6 - Tipo V1 - Persiana SI	Ud	0.019040588	Ventana	1	0.019040588	5470	104.1520138
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,6 x 0,5 - Tipo V2 - Persiana NO	Ud	0.000388583	Ventana	1	0.000388583	5470	2.125551303
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,3 x 1,6 - Tipo V3 - Persiana SI	Ud	0.003497251	Ventana	1	0.003497251	5470	19.12996172
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,1 x 1,6 - Tipo V4 - Persiana SI	Ud	0.003108667	Ventana	1	0.003108667	5470	17.00441042
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,8 diámetro - Tipo V5 - Persiana NO	Ud	0.003108667	Ventana	1	0.003108667	5470	17.00441042
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,7 x 1,0 - Tipo V6 - Persiana NO	Ud	0.003497251	Ventana	1	0.003497251	5470	19.12996172
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 2,2 x 2,2 - Tipo V7 - Persiana SI	Ud	0.006217335	Ventana	1	0.006217335	5470	34.00882084
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,2 x 0,5 - Tipo V8 - Persiana NO	Ud	0.003885834	Ventana	1	0.003885834	5470	21.25551303



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Ventana corredera de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,5 x 0,5 - Tipo V9 - Persiana NO	Ud	0.000388583	Ventana	1	0.000388583	5470	2.125551303
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,7 x 1,1 - Tipo V10 - Persiana NO	Ud	0.003497251	Ventana	1	0.003497251	5470	19.12996172
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 2,2 x 2,2 - Tipo PB1 - Persiana SI	Ud	0.004663001	Ventana	1	0.004663001	5470	25.50661563
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,9 x 2,2 - Tipo PB2 - Persiana SI	Ud	0.003497251	Ventana	1	0.003497251	5470	19.12996172
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,5 x 2,2 - Tipo PB3 - Persiana SI	Ud	0.012823253	Ventana	1	0.012823253	5470	70.14319299
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 0,75 x 2,2 - Tipo PB4 - Persiana SI	Ud	0.003108667	Ventana	1	0.003108667	5470	17.00441042
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,2 x 2,2 - Tipo PB5 - Persiana SI	Ud	0.003108667	Ventana	1	0.003108667	5470	17.00441042
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,5 x 2,2 - Tipo PB7 - Persiana SI	Ud	0.000388583	Ventana	1	0.000388583	5470	2.125551303
Puerta de vidrio, perfilaría de acero inoxidable. Vidrio de seguridad 6 + 6 mm	Ud	0.000388583	Ventana	1	0.000388583	5470	2.125551303
Puerta metálica de chapa de acero galvanizado de 1mm de espesor y marco de acero galvanizado. Dimensiones 82 x 210	Ud	0.01360042	kg	3.0996	0.042155861	39	1.644078572
Puerta resistente al fuego RF-60. Dos chapas de acero galvanizado de 1mm con aislante interior, marco de acero galvanizado. Dimensiones 82 x 210	Ud	0.006217335	Ud	1	0.006217335	554.2	3.445646894
Puerta de garaje. Lamas de aluminio relleno de poliuretano. Marco de acero laminado en frío. Dimensiones 300 x 260	Ud	0.000388583					
Barandilla formada por perfil hueco de acero laminado (sup e inf) y montantes de mismo material separadas cada metro. Vidrio 4 + 4. Altura 110 cm	m	0.078330646	m	1	0.078330646	302.27448	23.67735518
Barandilla formada por perfil hueco de acero laminado (sup e inf) y montantes de mismo material separadas cada metro. Relleno entrepaños - Barrote perfil hueco de acero laminado. Altura 100 cm	m	0.014369815	m	1	0.014369815	2.3868	0.034297874
Puerta blindada: Tablero de aglomerado + dos chapas de acero galv 0,8 mm + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 82,5 x 4,5	Ud	0.013211836	Ud	1	0.013211836	994.83	13.14353106
Puerta de madera: Tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 72,5 - Tipo P1	Ud	0.05906468	Ud	1	0.05906468	562.71	33.23628592
Puerta de madera y vidrio: tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 72,5 - Tipo PV1	Ud	0.01360042	Ud	1	0.01360042	407.45	5.541490995



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Puerta de madera y vidrio: tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 82,5 - Tipo PV2	Ud	0.012434669	Ud	1	0.012434669	456.72	5.679162214
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,6 x 2,4 - Tipo A1	Ud	0.003108667	Ud	1	0.003108667	1468.32	4.564518448
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,5 x 2,4 - Tipo A2	Ud	0.006217335	Ud	1	0.006217335	1376.55	8.55847209
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,2 x 2,4 - Tipo A3	Ud	0.006605918	Ud	1	0.006605918	1101.24	7.274701276
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 0,9 x 2,4 - Tipo A4	Ud	0.006217335	Ud	1	0.006217335	825.93	5.135083254
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 2,4 x 2,4 - Tipo A5	Ud	0.000388583	Ud	1	0.000388583	2202.48	0.855847209
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,2 x 2,4 - Tipo A6	Ud	0.000388583	Ud	1	0.000388583	1101.24	0.427923604
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 3,75 x 2,4 - Tipo A7	Ud	0.000388583	Ud	1	0.000388583	3441.375	1.337261264
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,3 x 2,4 - Tipo A8	Ud	0.012434669	Ud	1	0.012434669	1193.01	14.83468496
Imprimación adherente y selladora previa a pintura plástica	l	0.291157784					
Imprimación anticorrosiva para barandillas	l	0.00885193					
Imprimación no grasa para madera	l	0.005550526					
Pintura plástica	m ²	3.785078397	m ²	1	3.785078397	10.2	38.60779965
Pintura con acabado martelé para barandillas	l	0.011507898	m ²	10	0.11507898	10.2	1.173805592
Laca nitrocelulósica	l	0.158584779					



PROCESO CONSTRUCTIVO	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Desbroce y limpieza de parcela	m ²	0.37936622					
Excavación del terreno para formación de sótanos	m ³	3.996553265	m ³	1	3.996553265	8.073372315	32.26566249
Transporte de residuos de excavación hasta vertedero	m ³	3.996553265	v-km	6.25	24.97845791	10.32685666	257.9489543
Vertido con grúa de hormigón	m ³	1.033930989			0		
Barrenado de tierras para ubicación de pilotes	m ³	0.23689821	m ³	1	0.23689821	8.073372315	1.912567448
Vibrado de hormigón	m ³	0.662451173	m ³	1	0.662451173	0.552	0.365673047
Proyectado de aislamiento en cara interior de cerramientos de fachada	m ³	0.038939012	kg	30	1.168170355	0.0552	0.064483004
Vertido con grúa de mortero en pavimentos	m ³	0.027777583					
Fratasado mecánico de hormigón	m ²	0.681268336					
Rebajado pulido y abrillantado de mármol	m ²	0.713528532	m ²	1	0.713528532	0.297	0.211917974
Proyectado de yeso a buena vista	m ²	4.272288173	l	12.5	53.40360217	0.018	0.961264839
Proyectado de pintura plástica	m ²	3.785078397	l	0.833333333	3.154231997	0.018	0.056776176
Proyectado de pintura martelé	l	0.011507898	l	1	0.011507898	0.018	0.000207142
Aplicación con pistola de laca nitrocelulósica	l	0.158584779	l	1	0.158584779	0.018	0.002854526



Anexo C. Inventario de Ciclo de Vida. Caso de estudio C.

MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Grava caliza 40/80 mm	m ³	0.075873244	kg	1500	113.8098661	0.035763241	4.070209723
Hormigón en masa HM-20/B/20/I	m ³	0.037936622	m ³	1	0.037936622	1448.918945	54.96709039
Hormigón armado HA-30/F/20/IIa + QbSR/MR	m ³	0.23689821	m ³	1	0.23689821	1782.250074	422.2118519
Acero B 500 s	m ³	0.007564359	kg	7850	59.38022148	23.11225121	1372.410596
Hormigón armado HA-30/B/20/IIa + QbSR/MR	m ³	0.289009022	m ³	1	0.289009022	1782.250074	515.0863506
Hormigón armado HA-25/B/20/I	m ³	0.370621432	m ³	1	0.370621432	1448.918945	537.0004145
Hormigón armado HA-25/B/12/I	m ³	0.002820719	m ³	1	0.002820719	1448.918945	4.086992694
Acero B 500 T	m ³	0.000503924	kg	7850	3.955805386	23.11225121	91.4275678
Bloque de hormigón (Aligeramiento de forjados)	Ud	7.97140026	kg	21.6	172.1822456	0.830792724	143.0477569
Panel fenólico	m ²	0.034972508					
Ladrillo caravista, cerámico, prensado hidrofugado. Dimensiones 24 x 12 x 5	Ud	51.93834735	kg	1.55	80.5044384	5.486136311	441.6583227
Ladrillo cerámico, hueco doble: 24 x 11,5 x 7 cm	Ud	64.28960345	kg	2.09	134.3652712	2.829028489	380.1231802
Ladrillo cerámico, hueco doble: 24 x 11,5 x 9 cm	Ud	18.68371253	kg	2	37.36742505	2.829028489	105.71351
Ladrillo cerámico, perforado para revestir: 24 x 12 x 9 cm	Ud	33.05252676	kg	2	66.10505353	2.829028489	187.0130797
Pieza cerámica para conducto de ventilación: 35 x 25 x 25 cm	Ud	2.646885387	kg	9.4	24.88072264	2.829028489	70.38827319
Bloque cerámico acústico 250 x 150 x 90	Ud	14.26694748	kg	3.8	54.21440044	2.829028489	153.3740834
Mortero de cemento M-40 (1:6)	m ³	0.124263493	kg	1800	223.6742876	1.52993471	342.2070564
Mortero de cemento M-80 (1:4)	m ³	0.007170244	kg	1800	12.9064396	1.52993471	19.74600993
Mortero de cemento hidrófugo M-60 (1:4)	m ³	0.022117885	kg	1800	39.81219219	1.52993471	60.91005472



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Espuma de poliuretano. Densidad 30 kg/m ³	m ³	0.038939012	kg	30	1.168170355	103.0718616	120.4054931
Hormigón polímero	m ³	0.0020034					
Lámina oxiasfáltica no protegida: LO-40-FP. (Peso 4 kg/m ²)	m ²	0.37936622	kg	4	1.517464882	7.050106544	10.69828909
Lámina de betún modificado. LBM (SBS)-40-FP. (Peso 4 kg/m ²)	m ²	0.220221881	kg	4	0.880887525	52.04234739	45.84345456
Lámina de betún modificado. LBM (APP)-48-FP. (Peso 4,8 kg/m ²)	m ²	0.23223688	kg	4.8	1.114737026	52.04234739	58.01353156
Lámina geotextil de poliéster.150 g/m ² .	m ²	0.37936622	kg	0.15	0.056904933	106.5	6.060375372
Lámina geotextil de poliéster.200 g/m ² .	m ²	0.209889448	kg	0.2	0.04197789	106.5	4.470645243
Lámina geotextil de polpropileno - polietileno.125 g/m ² .	m ²	0.23223688	kg	0.125	0.02902961	95.4	2.769424799
Lámina geotextil de polpropileno - polietileno.200g/m ² .	m ²	0.010332433	kg	0.2	0.002066487	95.4	0.197142824
Emulsión asfáltica ED. Densidad 1050 kg/m ³	m ³	0.000420833					
Hormigón celular. Cemento espumado CEM II/A-P 32,5 R, agua y aditivo aireante	m ³	0.024256931	kg	5000	121.2846568	3.449093409	418.3221103
Mortero de juntas J1. M-5	m ³	0.000371579	kg	1500	0.557368513	4.311282093	2.40297289
Baldosa cerámica de gres esmaltado antideslizante. 20 x 20 cm	Ud	5.805922011	kg	1.15	6.676810313	14.82479257	98.98232791
Panel de poliestireno extruido tipo IV. Espesor 30 mm	m ²	0.147242029	kg	1.05	0.154604131	100.6310796	15.55798058
Grava de canto rodado 16/32 mm	m ³	0.022022188	kg	1500	33.03328217	0.057918265	1.9132304
Malla de gallinero para armadura de mortero base de baldosa cerámica. Alambre de acero galvanizado	m ²	0.23223688					
Hormigón armado HA-25/B/12/IIa	m ³	0.072388053	m ³	1	0.072388053	1638.091936	118.5782854
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.018236608	kg	1500	27.35491267	0.057918265	1.584349089
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000413624	kg	1800	0.744523422	4.6	3.424807741
Baldosa de marmol nacional. Dimensiones 60 x 60 cm	Ud	1.966199222	kg	4.727272727	9.294759959	3.33	30.95155066
Baldosa de gres esmaltado porcelánico. Dimensiones 30 x 30 cm	Ud	2.159507587	kg	2.6	5.614719726	14.82479257	83.23705528



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Pintura tipo slurry	kg	0.017427966					
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.013085722	kg	1800	23.5542987	1.52993471	36.03653916
Mortero monocapa. Acabado raspado fino	m ³	0.010239076	kg	1800	18.43033671	1.52993471	28.19721185
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.042722882	kg	1000	42.72288173	1.752546063	74.87381816
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.021361441	kg	1000	21.36144087	1.752546063	37.43690908
Mortero cola convencional. A1	m ³	0.002052474	kg	1700	3.489206318	24.46630134	85.36797322
Baldosa cerámica de azulejo. 30 x 15 cm	Ud	22.14825022	kg	0.167	3.698757787	14.82479257	54.83331696
Barra de madera de pino. 5 x 5 cm	m	0.51920185	m ³	0.0025	0.001298005	16230.28961	21.06699096
Tablero aglomerado. Espesor 19 cm	m ²	0.20768618	m ³	0.19	0.039460374	20490.40857	808.5591897
Lamichapa de cedro	m ²	0.20768618	kg	7	1.45380326	9.5	13.81113097
Barniz	l	0.020768618	kg	0.9	0.018691756	46.28406418	0.865130444
Falso techo continuo de placas de escayola	m ²	0.183244283	kg	11.5	2.107309254	1.752546063	3.693156536
Falso techo desmontable de placas de escayola.	m ²	0.047725816	kg	9	0.42953234	1.752546063	0.752775211
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,4 x 1,6 - Tipo V1 - Persiana SI	Ud	0.019040588	m ²	2.24	0.042650916	8745.843174	373.0182233
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,6 x 0,5 - Tipo V2 - Persiana NO	Ud	0.000388583	m ²	0.8	0.000310867	8745.843174	2.718791715
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,3 x 1,6 - Tipo V3 - Persiana SI	Ud	0.003497251	m ²	2.08	0.007274282	8745.843174	63.61972613
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,1 x 1,6 - Tipo V4 - Persiana SI	Ud	0.003108667	m ²	1.76	0.005471255	8745.843174	47.85073419
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,8 diámetro - Tipo V5 - Persiana NO	Ud	0.003108667	m ²	0.502654825	0.001562587	8745.843174	13.66613773
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,7 x 1,0 - Tipo V6 - Persiana NO	Ud	0.003497251	m ²	0.7	0.002448076	8745.843174	21.41048476
Ventana oscilobatiente de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 2,2 x 2,2 - Tipo V7 - Persiana SI	Ud	0.006217335	m ²	4.84	0.0300919	8745.843174	263.179038
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,2 x 0,5 - Tipo V8 - Persiana NO	Ud	0.003885834	m ²	0.6	0.002331501	8745.843174	20.39093786



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Ventana corredera de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 1,5 x 0,5 - Tipo V9 - Persiana NO	Ud	0.000388583	m ²	0.75	0.000291438	8745.843174	2.548867233
Ventana basculante de aluminio lacado 60 micras. Dimensiones 0,7 x 1,1 - Tipo V10 - Persiana NO	Ud	0.003497251	m ²	0.77	0.002692883	8745.843174	23.55153323
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 2,2 x 2,2 - Tipo PB1 - Persiana SI	Ud	0.004663001	m ²	4.84	0.022568925	8745.843174	197.3842785
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,9 x 2,2 - Tipo PB2 - Persiana SI	Ud	0.003497251	m ²	4.18	0.014618508	8745.843174	127.8511804
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,5 x 2,2 - Tipo PB3 - Persiana SI	Ud	0.012823253	m ²	3.3	0.042316734	8745.843174	370.0955222
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 0,75 x 2,2 - Tipo PB4 - Persiana SI	Ud	0.003108667	m ²	1.65	0.005129301	8745.843174	44.8600633
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,2 x 2,2 - Tipo PB5 - Persiana SI	Ud	0.003108667	m ²	2.64	0.008206882	8745.843174	71.77610128
Puerta de vidrio, corredera, marco de aluminio lacado 60 micras y dos hojas. Dimensiones 1,5 x 2,2 - Tipo PB7 - Persiana SI	Ud	0.000388583	m ²	3.3	0.001282325	8745.843174	11.21501582
Puerta de vidrio, perfilería de acero inoxidable. Vidrio de seguridad 6 + 6 mm	Ud	0.000388583	m ²	2.42	0.000940372	7160.253804	6.73330129
Puerta metálica de chapa de acero galvanizado de 1mm de espesor y marco de acero galvanizado. Dimensiones 82 x 210	Ud	0.01360042	kg	3.0996	0.042155861	39	1.644078572
Puerta resistente al fuego RF-60. Dos chapas de acero galvanizado de 1mm con aislante interior, marco de acero galvanizado. Dimensiones 82 x 210	Ud	0.006217335	Ud	1	0.006217335	554.2	3.445646894
Puerta de garaje. Lamas de aluminio relleno de poliuretano. Marco de acero laminado en frío. Dimensiones 300 x 260	Ud	0.000388583					
Barandilla formada por perfil hueco de acero laminado (sup e inf) y montantes de mismo material separadas cada metro. Vidrio 4 + 4. Altura 110 cm	m	0.078330646	m	1	0.078330646	302.27448	23.67735518
Barandilla formada por perfil hueco de acero laminado (sup e inf) y montantes de mismo material separadas cada metro. Relleno entrepaños - Barrote perfil hueco de acero laminado. Altura 100 cm	m	0.014369815	m	1	0.014369815	2.3868	0.034297874
Puerta blindada: Tablero de aglomerado + dos chapas de acero galv 0,8 mm + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 82,5 x 4,5	Ud	0.013211836	m ²	1.67475	0.022126523	1894.180119	41.91161951
Puerta de madera: Tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 72,5 - Tipo P1	Ud	0.05906468	m ²	1.47175	0.086928442	1803.847786	156.8056783
Puerta de madera y vidrio: tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 72,5 - Tipo PV1	Ud	0.01360042	m ²	1.47175	0.020016418	1759.177683	35.21243522



MATERIAL	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Puerta de madera y vidrio: tablero de aglomerado + chapado de roble en las dos caras. Dimensiones 203 x 82,5 - Tipo PV2	Ud	0.012434669	m ²	1.67475	0.020824963	1759.177683	36.63480945
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,6 x 2,4 - Tipo A1	Ud	0.003108667	m ²	3.84	0.011937283	1759.177683	20.99980121
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,5 x 2,4 - Tipo A2	Ud	0.006217335	m ²	3.6	0.022382405	1759.177683	39.37462726
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,2 x 2,4 - Tipo A3	Ud	0.006605918	m ²	2.88	0.019025044	1759.177683	33.46843317
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 0,9 x 2,4 - Tipo A4	Ud	0.006217335	m ²	2.16	0.013429443	1759.177683	23.62477636
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 2,4 x 2,4 - Tipo A5	Ud	0.000388583	m ²	5.76	0.00223824	1759.177683	3.937462726
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,2 x 2,4 - Tipo A6	Ud	0.000388583	m ²	2.88	0.00111912	1759.177683	1.968731363
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 3,75 x 2,4 - Tipo A7	Ud	0.000388583	m ²	9	0.003497251	1759.177683	6.15228551
Puerta de armario: Tablero de aglomerado + chapado de roble a las dos caras. Dimensiones 1,3 x 2,4 - Tipo A8	Ud	0.012434669	m ²	3.12	0.038796169	1759.177683	68.24935392
Imprimación adherente y selladora previa a pintura plástica	l	0.291157784					
Imprimación anticorrosiva para barandillas	l	0.00885193					
Imprimación no grasa para madera	l	0.005550526					
Pintura plástica	m ²	3.785078397	kg	1.5	5.677617595	57.57752098	326.9031462
Pintura con acabado martelé para barandillas	l	0.011507898	kg	1	0.011507898	57.57752098	0.662596236
Laca nitrocelulósica	l	0.158584779					



PROCESO CONSTRUCTIVO	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
Desbroce y limpieza de parcela	m ²	0.37936622					
Excavación del terreno para formación de sótanos	m ³	3.996553265	m ³	1	3.996553265	8.073372315	32.26566249
Transporte de residuos de excavación hasta vertedero	m ³	3.996553265	v-km	6.25	24.97845791	10.32685666	257.9489543
Vertido con grúa de hormigón	m ³	1.033930989			0		
Barrenado de tierras para ubicación de pilotes	m ³	0.23689821	m ³	1	0.23689821	8.073372315	1.912567448
Vibrado de hormigón	m ³	0.662451173	m ³	1	0.662451173	0.552	0.365673047
Proyectado de aislamiento en cara interior de cerramientos de fachada	m ³	0.038939012	kg	30	1.168170355	0.0552	0.064483004
Vertido con grúa de mortero en pavimentos	m ³	0.027777583					
Fratasado mecánico de hormigón	m ²	0.681268336					
Rebajado pulido y abrillantado de mármol	m ²	0.713528532	m ²	1	0.713528532	0.297	0.211917974
Proyectado de yeso a buena vista	m ²	4.272288173	l	12.5	53.40360217	0.018	0.961264839
Proyectado de pintura plástica	m ²	3.785078397	l	0.833333333	3.154231997	0.018	0.056776176
Proyectado de pintura martelé	l	0.011507898	l	1	0.011507898	0.018	0.000207142
Aplicación con pistola de laca nitrocelulósica	l	0.158584779	l	1	0.158584779	0.018	0.002854526



Anexo D.- Energía de mantenimiento. Caso de estudio A.

COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
SUELO TERRAZAS Y AZOTEAS							
Mortero de juntas J1. M-5	m ³	0.000371579	kg	1500	0.557368513	4.311282093	2.40297289
Baldosa cerámica de gres esmaltado antideslizante. 20 x 20 cm	Ud	5.805922011	kg	1.15	6.676810313	14.82479257	98.98232791
						TOTAL	101.3853008
PINTURA APARCAMIENTOS							
Pintura tipo slurry	kg	0.017427966					
						TOTAL	0
SUELOS INTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.012843514	kg	1800	23.11832443	1.52993471	35.36952698
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.014270571	kg	1500	21.40585595	0.057918265	1.239790044
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	2.85411E-05					
Baldosa de marmol nacional. Dimensiones 60 x 60 cm	Ud	1.966199222					
						TOTAL	36.60931702
SUELOS EN ASEOS Y COCINAS							
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000107083					
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.003966038	kg	1500	5.949056714	0.057918265	0.344559045
Baldosa de gres esmaltado porcelánico. Dimensiones 30 x 30 cm	Ud	2.159507587	kg	2.6	5.614719726	14.82479257	83.23705528
Mortero de cemento M-60 (1:5).	m ³	0.000793208	kg	1800	1.427773611	1.52993471	2.184400406
						TOTAL	85.76601473



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
ENFOSCADOS EXTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.010291535	kg	1800	18.52476248	1.52993471	28.34167711
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.002058307	kg	1800	3.704952496	1.52993471	5.668335422
						TOTAL	34.01001253
ACABADO MONOCAPA							
Mortero monocapa. Acabado raspado fino	m ³	0.010239076	kg	1800	18.43033671	1.52993471	28.19721185
						TOTAL	28.19721185
ENFOSCADOS INTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.002058307	kg	1800	3.704952496	1.52993471	5.668335422
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.011027415	kg	1800	19.84934621	1.52993471	30.36820374
						TOTAL	36.03653916
ACABADO PAREDES INTERIORES							
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.028104101	kg	1000	28.1041015	1.752546063	49.25373242
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.014052051	kg	1000	14.05205075	1.752546063	24.62686621
						TOTAL	73.88059863
ACABADOS TECHOS INTERIORES							
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.01461878	kg	1000	14.61878024	1.752546063	25.62008574
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.00730939	kg	1000	7.309390118	1.752546063	12.81004287
						TOTAL	38.43012861



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECONVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECONVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECONVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECONVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
ALICATADOS							
Mortero de cemento M-60 (1:5).	m ³	0.020524743	kg	1800	36.94453749	1.52993471	56.52273025
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000278					
Mortero cola convencional. A1	m ³	0.002052474	kg	1700	3.489206318	1.52993471	5.338257857
Baldosa cerámica de azulejo. 30 x 15 cm	Ud	22.14825022	kg	0.167	3.698757787	14.82479257	54.83331696
						TOTAL	116.6943051
CHAPADOS DE MADERA							
Tablero aglomerado. Espesor 19 cm	m ²	0.20768618	m ³	0.19	0.039460374	20490.40857	808.5591897
Lamichapa de cedro	m ²	0.20768618					
Barniz	l	0.020768618	kg	0.9	0.018691756	46.28406418	0.865130444
						TOTAL	809.4243202
TECHOS PASILLOS Y ZONAS COMUNES							
Falso techo continuo de placas de escayola	m ²	0.183244283	kg	11.5	2.107309254	1.752546063	3.693156536
						TOTAL	3.693156536
TECHOS ZONAS HÚMEDAS							
Falso techo desmontable de placas de escayola.	m ²	0.047725816	kg	9	0.42953234	1.752546063	0.752775211
						TOTAL	0.752775211
PINTURA PAREDES Y TECHOS							
Imprimación adherente y selladora previa a pintura plástica	l	0.291157784					
Pintura plástica	m ²	3.785078397	kg	1.5	5.677617595	57.57752098	326.9031462
						TOTAL	326.9031462



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ECOINVENT}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ECOINVENT} /UM)	TOTAL' (UF _{ECOINVENT})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ECOINVENT}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
PINTURA BARABDILLAS							
Imprimación anticorrosiva para barandillas		0.00885193					
Pintura con acabado martelé para barandillas		0.011507898	kg	1	0.011507898	57.57752098	0.662596236
						TOTAL	0.662596236
BARNIZADO MADERAS							
Imprimación no grasa para madera		0.005550526					
Laca nitrocelulósica		0.158584779					
						TOTAL	0



Anexo E.- Energía de mantenimiento. Caso de estudio B.

COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
SUELO TERRAZAS Y AZOTEAS							
Mortero de juntas J1. M-5	m ³	0.000371579	kg	1500	0.557368513	1.2	0.668842216
Baldosa cerámica de gres esmaltado antideslizande. 20 x 20 cm	Ud	5.805922011	kg	1.15	6.676810313	9	60.09129282
						TOTAL	60.76013503
PINTURA APARCAMIENTOS							
Pintura tipo slurry	kg	0.017427966					
						TOTAL	0
SUELOS INTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.012843514	kg	1800	23.11832443	0.99	22.88714118
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.014270571	kg	1500	21.40585595	0.1	2.140585595
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	2.85411E-05	kg	1800	0.051374054	4.6	0.23632065
Baldosa de marmol nacional. Dimensiones 60 x 60 cm	Ud	1.966199222	kg	4.727272727	9.294759959	3.33	30.95155066
						TOTAL	56.21559809
SUELOS EN ASEOS Y COCINAS							
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000107083	kg	1800	0.192749438	4.6	0.886647413
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.003966038	kg	1500	5.949056714	0.1	0.594905671
Baldosa de gres esmaltado porcelánico. Dimensiones 30 x 30 cm	Ud	2.159507587	kg	2.6	5.614719726	9	50.53247754
Mortero de cemento M-60 (1:5).	m ³	0.000793208	kg	1800	1.427773611	1.21	1.72760607
						TOTAL	53.74163669



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
ENFOCADOS EXTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.010291535	kg	1800	18.52476248	0.99	18.33951485
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.002058307	kg	1800	3.704952496	1.4	5.186933494
						TOTAL	23.52644835
ACABADO MONOCAPA							
Mortero monocapa. Acabado raspado fino	m ³	0.010239076	kg	1800	18.43033671	1.2	22.11640405
						TOTAL	22.11640405
ENFOCADOS INTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.002058307	kg	1800	3.704952496	0.99	3.667902971
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.011027415	kg	1800	19.84934621	1.4	27.78908469
						TOTAL	31.45698766
ACABADO PAREDES INTERIORES							
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.028104101	kg	1000	28.1041015	1.8	50.5873827
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.014052051	kg	1000	14.05205075	1.8	25.29369135
						TOTAL	75.88107404
ACABADO TECHOS INTERIORES							
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.01461878	kg	1000	14.61878024	1.8	26.31380443
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.00730939	kg	1000	7.309390118	1.8	13.15690221
						TOTAL	39.47070664



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
ALICATADOS							
Mortero de cemento M-60 (1:5).	m ³	0.020524743	kg	1800	36.94453749	1.21	44.70289036
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000278	kg	1800	0.50039993	4.6	2.301839678
Mortero cola convencional. A1	m ³	0.002052474	kg	1700	3.489206318	1.2	4.187047582
Baldosa cerámica de azulejo. 30 x 15 cm	Ud	22.14825022	kg	0.167	3.698757787	9	33.28882009
						TOTAL	84.48059771
CHAPADOS DE MADERA							
Tablero aglomerado. Espesor 19 cm	m ²	0.20768618	kg	142.5	29.59528065	9.5	281.1551662
Lamichapa de cedro	m ²	0.20768618	kg	7	1.45380326	9.5	13.81113097
Barniz	l	0.020768618	kg	0.9	0.018691756	50	0.93458781
						TOTAL	295.900885
TECHOS PASILLOS Y ZONAS COMUNES							
Falso techo continuo de placas de escayola	m ²	0.183244283	kg	11.5	2.107309254	1.8	3.793156657
						TOTAL	3.793156657
TECHOS ZONAS HÚMEDAS							
Falso techo desmontable de placas de escayola.	m ²	0.047725816	kg	9	0.42953234	1.8	0.773158212
						TOTAL	0.773158212
PINTURA PAREDES Y TECHOS							
Imprimación adherente y selladora previa a pintura plástica	l	0.291157784					
Pintura plástica	m ²	3.785078397	m ²	1	3.785078397	10.2	38.60779965
						TOTAL	38.60779965



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{ICE}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{ICE} /UM)	TOTAL' (UF _{ICE})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{ICE}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
PINTURA BARANDILLAS							
Imprimación anticorrosiva para barandillas	I	0.00885193					
Pintura con acabado martelé para barandillas	I	0.011507898	m ²	10	0.11507898	10.2	1.173805592
						TOTAL	1.173805592
BARNIZADO MADERAS							
Imprimación no grasa para madera	I	0.005550526					
Laca nitrocelulósica	I	0.158584779					
						TOTAL	0



Anexo F.- Energía de mantenimiento. Caso de estudio C.

COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
SUELO TERRAZAS Y AZOTEAS							
Mortero de juntas J1. M-5	m ³	0.000371579	kg	1500	0.557368513	4.311282093	2.40297289
Baldosa cerámica de gres esmaltado antideslizande. 20 x 20 cm	Ud	5.805922011	kg	1.15	6.676810313	14.82479257	98.98232791
						TOTAL	101.3853008
PINTURA APARCAMIENTOS							
Pintura tipo slurry	kg	0.017427966					
						TOTAL	0
SUELOS INTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.012843514	kg	1800	23.11832443	1.52993471	35.36952698
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.014270571	kg	1500	21.40585595	0.057918265	1.239790044
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	2.85411E-05	kg	1800	0.051374054	4.6	0.23632065
Baldosa de marmol nacional. Dimensiones 60 x 60 cm	Ud	1.966199222	kg	4.727272727	9.294759959	3.33	30.95155066
						TOTAL	67.79718834
SUELOS EN ASEOS Y COCINAS							
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000107083	kg	1800	0.192749438	4.6	0.886647413
Arena de machaqueo. Granulometría 0/5 mm	m ³	0.003966038	kg	1500	5.949056714	0.057918265	0.344559045
Baldosa de gres esmaltado porcelánico. Dimensiones 30 x 30 cm	Ud	2.159507587	kg	2.6	5.614719726	14.82479257	83.23705528
Mortero de cemento M-60 (1:5).	m ³	0.000793208	kg	1800	1.427773611	1.52993471	2.184400406
						TOTAL	86.65266214



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
ENFOSCADOS EXTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.010291535	kg	1800	18.52476248	1.52993471	28.34167711
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.002058307	kg	1800	3.704952496	1.52993471	5.668335422
						TOTAL	34.01001253
ACABADO MONOCAPA							
Mortero monocapa. Acabado raspado fino	m ³	0.010239076	kg	1800	18.43033671	1.52993471	28.19721185
						TOTAL	28.19721185
ENFOSCADOS INTERIORES							
Mortero de cemento M-40 (1:6).	m ³	0.002058307	kg	1800	3.704952496	1.52993471	5.668335422
Mortero de cemento M-160 (1:3)	m ³	0.011027415	kg	1800	19.84934621	1.52993471	30.36820374
						TOTAL	36.03653916
ACABADO PAREDES INTERIORES							
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.028104101	kg	1000	28.1041015	1.752546063	49.25373242
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.014052051	kg	1000	14.05205075	1.752546063	24.62686621
						TOTAL	73.88059863
ACABADOS TECHOS INTERIORES							
Pasta de yeso de construcción de proyección mecánica. YPM	m ³	0.01461878	kg	1000	14.61878024	1.752546063	25.62008574
Pasta de yeso fino de construcción. YF	m ³	0.00730939	kg	1000	7.309390118	1.752546063	12.81004287
						TOTAL	38.43012861



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
ALICATADOS							
Mortero de cemento M-60 (1:5).	m ³	0.020524743	kg	1800	36.94453749	1.52993471	56.52273025
Cemento blanco BLV 22,5	m ³	0.000278	kg	1800	0.50039993	4.6	2.301839678
Mortero cola convencional. A1	m ³	0.002052474	kg	1700	3.489206318	1.52993471	5.338257857
Baldosa cerámica de azulejo. 30 x 15 cm	Ud	22.14825022	kg	0.167	3.698757787	14.82479257	54.83331696
						TOTAL	118.9961447
CHAPADOS DE MADERA							
Tablero aglomerado. Espesor 19 cm	m ²	0.20768618	m ³	0.19	0.039460374	20490.40857	808.5591897
Lamichapa de cedro	m ²	0.20768618	kg	7	1.45380326	9.5	13.81113097
Barniz	l	0.020768618	kg	0.9	0.018691756	46.28406418	0.865130444
						TOTAL	823.2354511
TECHOS PASILLOS Y ZONAS COMUNES							
Falso techo continuo de placas de escayola	m ²	0.183244283	kg	11.5	2.107309254	1.752546063	3.693156536
						TOTAL	3.693156536
TECHOS ZONAS HÚMEDAS							
Falso techo desmontable de placas de escayola.	m ²	0.047725816	kg	9	0.42953234	1.752546063	0.752775211
						TOTAL	0.752775211
PINTURA PAREDES Y TECHOS							
Imprimación adherente y selladora previa a pintura plástica	l	0.291157784	kg				
Pintura plástica	m ²	3.785078397	kg	1.5	5.677617595	57.57752098	326.9031462
						TOTAL	326.9031462



COMPOSICIÓN DEL ELEMENTO A RENOVAR	UNIDAD MEDICIÓN (UM)	TOTAL (UM)/m ²	UF _{BD}	FACTOR DE CONVERSIÓN (UF _{BD} /UM)	TOTAL' (UF _{BD})/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ)/UF _{BD}	ENERGÍA EMBEBIDA' (MJ)/m ²
PINTURA BARABDILLAS							
Imprimación anticorrosiva para barandillas	l	0.00885193					
Pintura con acabado martelé para barandillas	l	0.011507898	kg	1	0.011507898	57.57752098	0.662596236
						TOTAL	0.662596236
BARNIZADO MADERAS							
Imprimación no grasa para madera	l	0.005550526					
Laca nitrocelulósica	l	0.158584779					
						TOTAL	0



Anexo G.- Análisis de resultados

AGRUPAMIENTOS DE MATERIALES POR TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS	ENERGÍA EMBEBIDA ECOINVENT (MJ)/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA ICE (MJ)/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA TOTAL (MJ)/m ²
Hormigones y morteros	2365.956819	2995.042806	2789.190506
Acero estructural	1463.838163	2305.431378	1463.838163
Materiales cerámicos	1421.949066	2475.75486	1575.323149
Materiales calcáreos	124.3244482	166.7065313	124.3244482
Materiales bituminosos	114.5552752	97.9369054	114.752418
Materiales poliméricos	135.9634737	114.4082991	149.2639191
Ventanas	831.9544742	255.0661563	831.9544742
Puertas de aluminio	829.9154628	158.1294193	835.0051883
Puertas de madera	468.340014	100.5889623	468.340014
Pinturas y esmaltes	328.4308728	40.71619305	328.4308728
Resto de materiales	1405.212116	446.3880729	900.5034882
Operaciones	293.790361	293.790361	293.790361



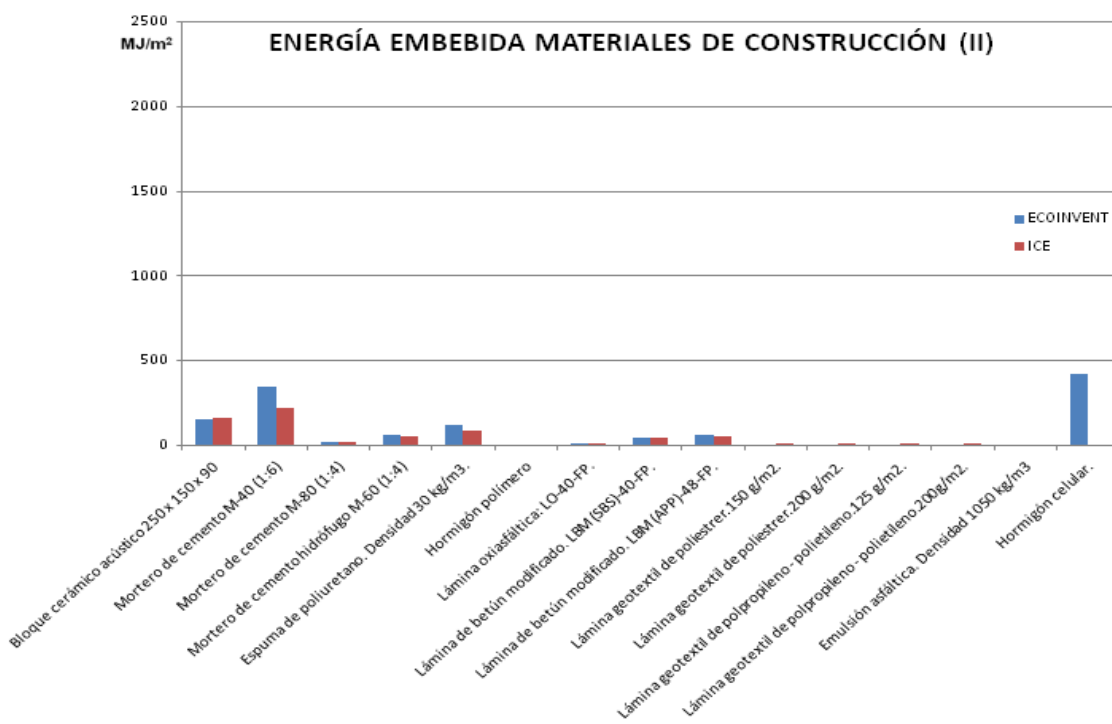
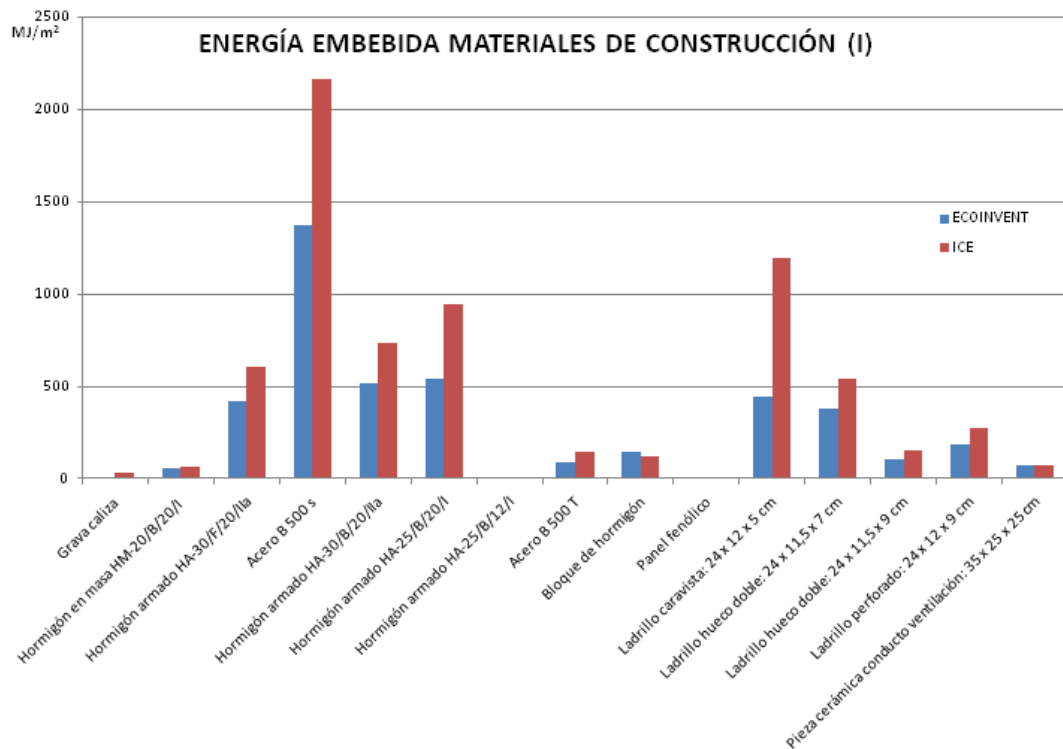
AGRUPAMIENTO DE MATERIALES POR "CAPÍTULOS DE MEDICIÓN"	ENERGÍA EMBEBIDA ECOINVENT (MJ)/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA ICE (MJ)/m ²	ENERGÍA EMBEBIDA TOTAL (MJ)/m ²
Cimentación y estructura	3113.290737	4774.475555	3113.290737
Albañilería	1714.510123	2659.412539	1714.510123
Cubiertas e impermeabilizaciones	690.676168	223.9892567	704.1737562
Pavimentos	271.9717099	343.6150195	304.0462286
Revestimientos exteriores	62.20722438	45.6428524	62.20722438
Revestimientos interiores	1180.00853	531.7565659	1196.1215
Carpintería metálica	1661.869937	436.9072286	1690.671315
Carpintería de madera	468.340014	100.5889623	468.340014
Acabados	327.5657424	39.78160524	327.5657424
Operaciones	293.790361	293.790361	293.790361

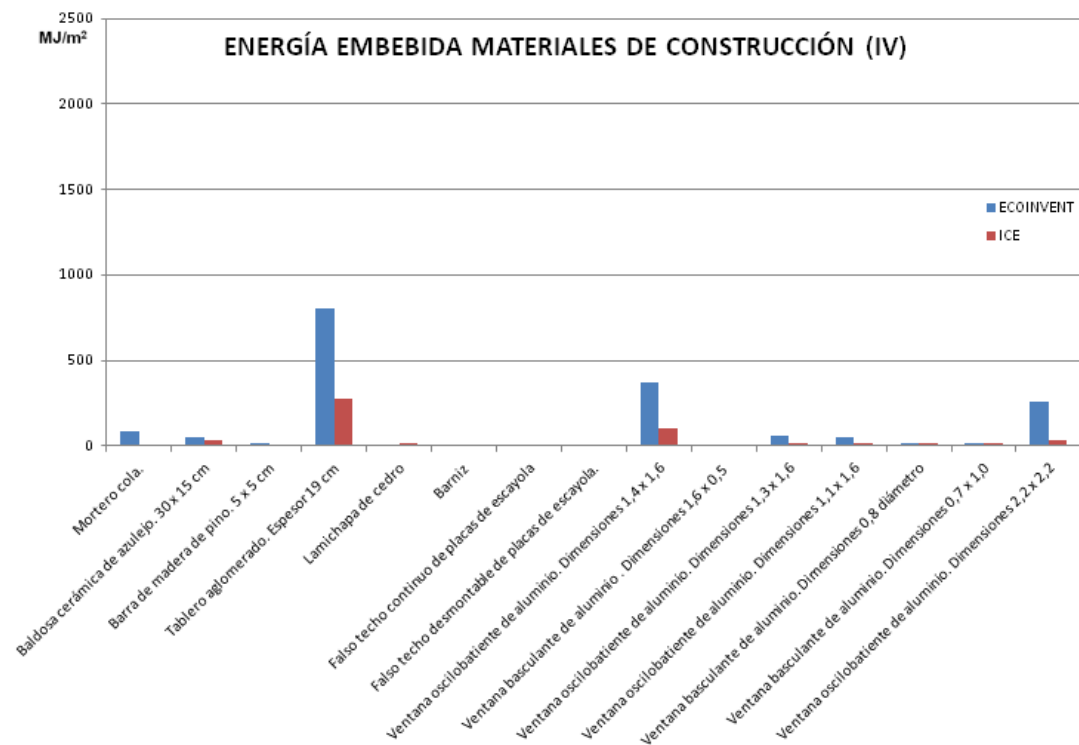
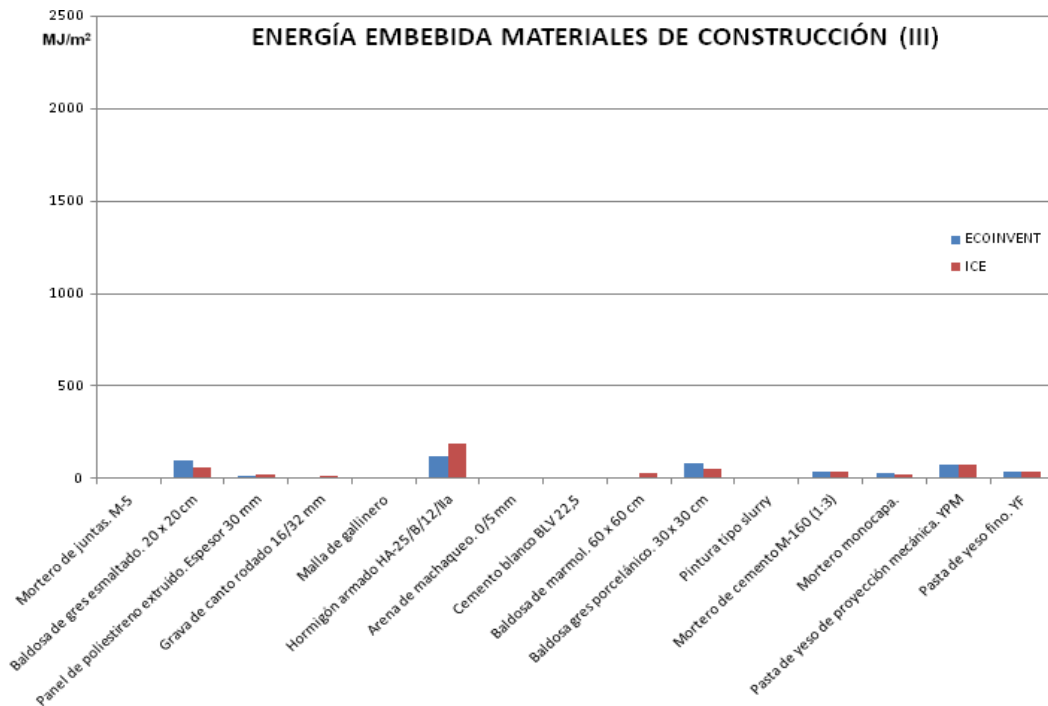


MANTENIMIENTO								
ELEMENTO	ENERGÍA EMBEBIDA (MJ/m ²)			CICLO DE VIDA		CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL (MJ/m ²)		
	ECOINVENT DATABASE	ICE DATABASE	DATOS AGREGADOS	VIDA ÚTIL	Nº SUSTITUCIONES	ECOINVENT DATABASE	ICE DATABASE	DATOS AGREGADOS
SUELOS TERRAZAS Y AZOTEAS	101.3853008	60.76013503	101.3853008	25	1	101.3853008	60.76013503	101.3853008
PINTURA APARCAMIENTOS	0	0	0	5	9	0	0	0
SUELOS INTERIORES. ZONAS COMUNES Y APARTAMENTOS	36.60931702	56.21559809	67.79718834	15	2	73.21863405	112.4311962	135.5943767
SUELOS ZONAS HÚMEDAS	85.76601473	53.74163669	86.65266214	15	2	171.5320295	107.4832734	173.3053243
ENFOSCADO CERRAMIENTOS EXTERIORES	34.01001253	23.52644835	34.01001253	25	1	34.01001253	23.52644835	34.01001253
ACABADOS MONOCAPA. CERRAMIENTOS EXTERIORES	28.19721185	22.11640405	28.19721185	25	1	28.19721185	22.11640405	28.19721185
ENFOSCADO CARA INTERNA DE CERRAMIENTOS Y TABIQUES	36.03653916	31.45698766	36.03653916	25	1	36.03653916	31.45698766	36.03653916
ACABADOS EN YESO PARA PAREDES INTERIORES	73.88059863	75.88107404	73.88059863	15	2	147.7611973	151.7621481	147.7611973
ACABADO EN YESO PARA TECHOS INTERIORES	38.43012861	39.47070664	38.43012861	15	2	76.86025723	78.94141328	76.86025723
ALICATADO ZONAS HÚMEDAS	116.6943051	84.48059771	118.9961447	15	2	233.3886101	168.9611954	237.9922895
CHAPADO DE MADERA EN ZONAS COMUNES	809.4243202	295.900885	823.2354511	25	1	809.4243202	295.900885	823.2354511
TECHOS FIJOS EN PASILLOS Y ZONAS COMUNES	3.693156536	3.793156657	3.693156536	15	2	7.386313072	7.586313315	7.386313072
TECHOS DESMONTABLES EN ZONAS HÚMEDAS	0.752775211	0.773158212	0.752775211	15	2	1.505550422	1.546316423	1.505550422
PINTURA PAREDES Y TECHOS	326.9031462	38.60779965	326.9031462	5	9	2942.128316	347.4701968	2942.128316
PINTURA BARANDILLAS	0.662596236	1.173805592	0.662596236	10	4	2.650384944	4.695222367	2.650384944
BARNIZADO MADERAS	0	0	0	5	9	0	0	0



Anexo H. Análisis de sensibilidad. Comparación contenido energético de los materiales.





Bibliografía

- [1] Organisation for Economic Co-operation and Development, *OECD Environmental Outlook*. París: , 2001.
- [2] CIB y CSIR, *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries : a discussion document*. Pretoria: , 2002.
- [3] US. Environmental Protection Agency, *Characterization Of Building-Related Construction And Demolition Debris In The United States*. 1998.
- [4] Organisation for Economic Co-operation and Development, *Environmentally sustainable buildings: challenges and policies*. París: , 2003.
- [5] CICA, *Industry as a Partner for Sustainable Development: Construction*. París: , 2002.
- [6] International Energy Agency, *Key World Statistics 2011*. Francia: , 2011.
- [7] European Commission, «Management of Construction and Demolition Waste», Brussels, 2000.
- [8] UNEP, «Sustainable Building and Construction. Facts and figures», *Industry and Environment*, vol. 26, pp. 5–8, 2003.
- [9] International Labour Office, *The construction industry in the twenty-first century: Its image, employment prospects and skill requirements*. Geneva: , 2001.
- [10] R. Cains, G. D. Niro, y E. Dolara, «The Use of RAC In Prefabrication», *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*, pp. 371–379, nov. 2002.
- [11] WRI, WBCSD, y UNEP, «Tomorrow's Markets. Global trends and their implications for business», París, 2002.
- [12] «Banco Público de Indicadores Ambientales (BPIA) - indicadores ambientales - Información ambiental - Calidad y evaluación ambiental - magrama.es». [Online]. Available: <http://www.magrama.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/informacion-ambiental-indicadores-ambientales/banco-publico-de-indicadores-ambientales-bpia/>. [Accessed: 24-mar-2012].
- [13] Departamento de Planificación. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, «Informe Anual de Consumos Energéticos», 2010.
- [14] Departamento de Planificación. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, «Informe Anual de Indicadores Energéticos», 2010.
- [15] Departamento de Planificación. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, «Informe Anual de Indicadores Energéticos», 2009.
- [16] Parlamento Europeo y Consejo, *Directiva 2002/91/CE relativa a eficiencia energética en los edificios*. .
- [17] Parlamento Europeo y Consejo, *Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia en el uso final de la energía y los servicios*. .
- [18] Parlamento Europeo y Consejo, *Directiva 2010/31/CE relativa a eficiencia energética en los edificios*. .
- [19] Ministerio de la Presidencia, *RD 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. .
- [20] Ministerio de Vivienda, *RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. .



[21] Ministerio de la Presidencia, *RD 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento Básico de Certificación Energética de Edificios de Nueva Construcción*. .

[22] P. Hernandez y P. Kenny, «Development of a methodology for life cycle building energy ratings», *Energy Policy*, vol. 39, n.º. 6, pp. 3779–3788, jun. 2011.

[23] P. Hernandez y P. Kenny, «From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)», *Energy and Buildings*, vol. 42, n.º. 6, pp. 815–821, jun. 2010.

[24] M. Erlandsson, «Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs», *Building and Environment*, vol. 38, n.º. 7, pp. 919–938, jul. 2003.

[25] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «ISO TR 14.047 - Environmental Management - Life Cycle Impact Assessment - Examples of application of UNE EN ISO 14.042». 2003.

[26] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «ISO TR 14.049 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Examples of application of UNE EN ISO 14.041 to goal and scope definition and inventory analysis». 2000.

[27] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «ISO TS 14.048 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Data Documentation Format». 2002.

[28] National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency, «Life Cycle Assessment. Principles and Practice». 2006.

[29] T. Ramesh, R. Prakash, y K. K. Shukla, «Life cycle energy analysis of buildings: An overview», *Energy and Buildings*, vol. 42, n.º. 10, pp. 1592–1600, oct. 2010.

[30] Swati Chaturvedi, «Strategies for Mitigating Adverse Environmental Impacts Due to Structural building Materials», Berkeley, 2004.

[31] Oscar Orlando Ortiz Rodríguez, «Sustainability assessment within the residential building sector: A practical life cycle method applied in a developed and a developing country», Rovira y Virgili, Tarragona, España, 2009.

[32] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «UNE EN ISO 14.040 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework». 2006.

[33] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «UNE EN ISO 14.041 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope definition and Inventory Analysis». 1999.

[34] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «UNE EN ISO 14.042 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment». 2001.

[35] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «UNE EN ISO 14.043 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation». 2001.

[36] Comité AEN/CTN 150 - Gestión Ambiental, «UNE EN ISO 14.044 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines». 2006.

[37] Centre For Design at RMIT University, «LCA Tools, Data and Application in the Building and Construction Industry», Australia, ene. 2001.



- [38] Steven Blanchard and Peter Reppe, «Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan», sep. 1998.
- [39] P. B.L.P, «Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context», *Energy and Buildings*, vol. 33, n^o. 5, pp. 443–450, may 2001.
- [40] M. Asif, T. Muneer, y R. Kelley, «Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland», *Building and Environment*, vol. 42, n^o. 3, pp. 1391–1394, mar. 2007.
- [41] R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, S. Hellweg, R. Hischier, T. Nemecek, G. Rebitzer, y M. Spielmann, «The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework (7 pp)», *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 10, n^o. 1, pp. 3–9, oct. 2004.
- [42] B. Berge, *The ecology of building materials*. Elsevier/Architectural Press, 2009.
- [43] C. Thormark, «The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building», *Building and Environment*, vol. 41, n^o. 8, pp. 1019–1026, ago. 2006.
- [44] A. Forsberg y F. von Malmborg, «Tools for environmental assessment of the built environment», *Building and Environment*, vol. 39, n^o. 2, pp. 223–228, feb. 2004.
- [45] Steven Blanchard and Peter Reppe, «Inventory of Carbon & Energy (ICE)», Bath University, 2008.

